

明 細 書

燃料電池発電システムおよびその改質器の劣化度検出方法、燃料電池発電方法

技術分野

本発明は、燃料電池を用いて発電を行う、燃料電池発電システムおよびその改質器の劣化度検出方法、燃料電池発電方法等に関するものである。

背景技術

従来の燃料電池発電システムには、改質ガスの温度を測定することにより改質器の劣化診断を行なうものがあつた（例えば、文献 1（特開 2000-268840 号公報）参照）。図 9 は、上記文献 1 に記載された従来の燃料電池発電システムを示すものである。

図 9 において、原燃料としての都市ガスは遮断弁 6 を開けることにより脱硫器 5 に供給され、触媒劣化要因の腐臭成分が除去される。腐臭成分を除去された都市ガスは、改質用水蒸気と混合され、改質器 2 で水素リッチな改質ガスが生成される。生成された改質ガス中には触媒劣化要因となる一酸化炭素が 10～15%含まれるが、変成器 4 で一酸化炭素を二酸化炭素に変換させた後、一酸化炭素を低減した燃料ガスとして燃料電池 1 に供給される。

燃料電池 1 では、水素リッチな燃料ガスと空気中の酸素を反応させることにより発電を行う。燃料電池発電システムの起動時には遮断弁 7 を開け、バーナ 3 で都市ガスを燃焼することにより改質器 2 を昇温する。

起動時以外は遮断弁 7 を閉め、燃料電池 1 から排出される排気燃料ガスをバーナ 3 で燃焼することにより改質器 2 の温度維持（最大 700℃程度）を行なう。

そして、改質器 2 内部の改質ガス温度を温度センサ 9 で測定し、測定した改質ガス温度を用いて劣化診断部 10 で改質器 2 の劣化状態を診断している。

しかしながら、上記の従来の燃料電池発電システムでは、改質器 2 の劣化状態を診断する手段として改質ガス温度を用いているが、これには以下のような課題がある。

具体的には、上記文献 1 に記載された図 9 の燃料電池発電システムは 200 kW リン酸形燃料電池発電システムである。このような出力規模のリン酸形燃料電池発電システムでは、通常、その出力（200 kW）での一定出力発電を行なう。このように出力が大きい場合には、改質器 2 で生成する改質ガス量および改質器 2 の改質ガス温度は多少変動しても許容できる。

しかし、出力規模が 1 kW 程度の小型の燃料電池発電システムや出力変動を行なう家庭用の燃料電池発電システムにおいては、改質器の温度維持に対する温度制御は、より精度よく行なわなければならない。

その理由は、出力規模が 1 kW 程度のシステムでは、改質器の大きさが上記文献 1 に記載された改質器 2 のそれと比較すると非常に小さいために、改質器は温度変動の影響を受けやすいからである。また、出力変動を行なうシステムについても、出力変動による都市ガス供給量と改質用水蒸気量の変動により温度変動を受けやすいことが挙げられる。

そのため、出力規模が 1 kW 程度の小型の燃料電池発電システムや出力変動を行なう家庭用の燃料電池発電システムにおいては、改質ガスの温度を一定温度に制御することで一定のメタン転化率の下で改質反応を

行わせるために、安定した燃料ガス供給を行う必要がある。すなわち、このような燃料電池発電システムでは、改質ガスの温度を一定温度に制御するため、改質ガス温度を用いて改質器の劣化状態を診断することは非常に困難である。

発明の開示

本発明は、上述した課題を考慮して、改質ガス温度を一定温度に制御しながら改質器の劣化検出を行える、燃料電池発電システムおよびその改質器の劣化度検出方法、およびそれらを用いた燃料電池発電システム、燃料電池発電方法等を提供することを目的とするものである。

上記の目的を達成するために、第1の本発明は、原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器と、

前記燃料ガスと酸化剤ガスを用いて発電を行なう燃料電池と、

前記改質器に供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出手段と、

前記改質器に供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出手段と、

前記改質器で生成される前記燃料ガスの流量を検出する燃料ガス流量検出手段と、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される燃料ガスの演算流量と、前記検出された燃料ガスの検出流量とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段とを備えた燃料電池発電システム。

また、第2の本発明は、前記劣化度検出手段は、前記演算流量として、前記改質器が劣化していない場合に生成される燃料ガスの流量を演算

する、第1の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第3の本発明は、原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器と、

前記燃料ガスと酸化剤ガスを用いて発電を行なう燃料電池と、

前記改質器に供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出手段と、

前記改質器に供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出手段と、

前記燃料ガスの流路の所定の2点におけるそれぞれの前記燃料ガスの圧力の差を検出する差圧検出手段と、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される、燃料ガスによる前記所定の2点間の圧力の差の演算値と、前記所定の2点間の前記燃料ガスの前記圧力の差の検出値とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段とを備えた、燃料電池発電システムである。

また、第4の本発明は、前記劣化度検出手段は、前記演算値として、前記改質器が劣化していない場合に生成される燃料ガスによる前記所定の2点間の圧力の差を演算する、第3の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第5の本発明は、原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器と、

前記燃料ガスと酸化剤ガスを反応させて発電を行なう燃料電池と、

前記改質器に供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出手段と、

前記改質器に供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出手段と、

前記燃料ガスの水蒸気濃度または原料濃度を検出する濃度検出手段と

、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量と演算される、燃料ガスに含まれる水蒸気濃度の演算値と、前記検出された水蒸気濃度または原料濃度とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段とを備えた、燃料電池発電システムである。

また、第 6 の本発明は、前記劣化度検出手段は、前記演算値として、前記改質器が劣化していない場合に生成される燃料ガスに含まれる水蒸気濃度または原料濃度を演算する、第 5 の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 7 の本発明は、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように、前記改質器の反応温度を上昇させる改質器加熱手段をさらに備えた、第 1、第 3、第 5 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 8 の本発明は、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記水蒸気流量を増加する制御を行う水蒸気流量制御手段をさらに備えた、第 1、第 3、第 5 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 9 の本発明は、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記原料流量を増加する制御を行う原料流量制御手段をさらに備えた、第 8 の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 10 の本発明は、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な出力以下に発電出力を低減する制御を行う発電出力制御手段をさらに備えた、第 1、第 3、第 5 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 1 1 の本発明は、前記水蒸気濃度検出手段は、前記燃料ガスの流路を通流する前記燃料ガスの露点を検出することによって前記水蒸気濃度を検出する、第 5 の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 1 2 の本発明は、前記水蒸気濃度検出手段は、前記燃料ガスの流路を通流する前記燃料ガスの相対湿度を検出することによって前記水蒸気濃度を検出する、第 5 の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 1 3 の本発明は、前記水蒸気流量検出手段の代わりに、前記改質器に供給される前記水蒸気を生成するために供給する水の量を測定する水用流量計を備え、

前記劣化度検出手段は、前記水蒸気の流量の代わりに、前記水用流量計で測定した前記供給する水の量に基づいて前記改質器の劣化度を算出する、第 5 の本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 1 4 の本発明は、前記改質器の前記劣化度と発電時間から劣化度低下速度を求め、前記燃料電池での発電が可能な前記改質器の劣化度の下限值に至るまでの期間を算出する寿命診断手段を備えた、第 1、第 3、第 5 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 1 5 の本発明は、前記劣化度検出手段は、前記改質器の前記劣化度としてメタン転化率を用いる、第 1、第 3、第 5 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムである。

また、第 1 6 の本発明は、原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器へ供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出工程と、

前記改質器へ供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出工程と、

前記改質器にて生成される前記燃料ガスの流量を検出する燃料ガス流量検出工程と、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される燃料ガスの演算流量と、前記検出された燃料ガスの検出流量とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出工程とを備えた、燃料電池システムの改質器の劣化度検出方法。

また、第 17 の本発明は、原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器へ供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出工程と、

前記改質器へ供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出工程と、

前記改質器にて生成される前記燃料ガスの流量を検出する燃料ガス流量検出工程と、

前記燃料ガスの流路の所定の 2 点におけるそれぞれの前記燃料ガスの圧力の差を検出する差圧検出工程と、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される、燃料ガスによる前記所定の 2 点間の圧力の差の演算値と、前記所定の 2 点間の前記燃料ガスの前記圧力の差の検出値とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出工程とを備えた、燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法である。

また、第 18 の本発明は、原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器へ供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出工程と、

前記改質器へ供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出工程と、

前記燃料ガスの水蒸気濃度または原料濃度を検出する濃度検出工程と

、
前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される、燃料ガスに含

まれる水蒸気濃度の演算値と、前記検出された水蒸気濃度または原料濃度とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出工程とを備えた、燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法である。

また、第 19 の本発明は、第 16 から第 18 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように、前記改質器の反応温度を上昇させる改質器加熱工程を備えた、燃料電池発電方法である。

また、第 20 の本発明は、第 16 から第 18 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記水蒸気流量を増加する制御を行う水蒸気流量制御工程を備えた、燃料電池発電方法である。

また、第 21 の本発明は、第 16 から第 18 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記原料流量を増加する制御を行う原料流量制御工程を備えた、燃料電池発電方法である。

また、第 22 の本発明は、第 16 から第 18 のいずれかの本発明の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発

電が可能な出力以下に発電出力を低減する制御を行う発電出力制御工程を備えた、燃料電池発電方法である。

また、第 23 の本発明は、第 1 の本発明の燃料電池発電システムの、前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される燃料ガスの演算流量と、前記検出された燃料ガスの検出流量とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

また、第 24 の本発明は、第 3 の本発明の燃料電池発電システムの、前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される、燃料ガスによる前記所定の 2 点間の圧力の差の演算値と、前記所定の 2 点間の前記燃料ガスの前記圧力の差の検出値とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

また、第 25 の本発明は、第 5 の本発明の燃料電池発電システムの、前記原料の流量と前記水蒸気の流量と演算される、燃料ガスに含まれる水蒸気濃度または原料濃度の演算値と、前記検出された水蒸気濃度とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

また、第 26 の本発明は、第 7 の本発明の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように、前記改質器の反応温度を上昇させる改質器加熱手段としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

また、第 27 の本発明は、第 8 の本発明の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記水蒸気流量を増加する制御

を行う水蒸気流量制御手段としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

また、第 28 の本発明は、第 9 の本発明の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記原料流量を増加する制御を行う原料流量増加手段としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

また、第 29 の本発明は、第 10 の本発明の前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な出力以下に発電出力を低減する制御を行う発電出力制御手段としてコンピュータを機能させるためのプログラムである。

また、第 30 の本発明は、第 23 から第 29 のいずれかの本発明のプログラムを担持した記録媒体であって、コンピュータにより処理可能な記録媒体である。

本発明により、改質ガス温度を一定温度に制御しながら改質器の劣化検出を行える、燃料電池発電システムおよびその改質器の劣化度検出方法、燃料電池発電方法等を提供することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、実施の形態 1 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 2 は、実施の形態 2 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 3 は、実施の形態 3 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 4 は、実施の形態 4 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 5 は、実施の形態 1 における劣化度の検出動作を示すフローチャートである。

図 6 は、実施の形態 2 における劣化度の検出動作を示すフローチャートである。

図 7 は、実施の形態 3 における劣化度の検出動作を示すフローチャートである。

図 8 は、実施の形態 4 における寿命診断動作を示すフローチャートである。

図 9 は、従来の燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 10 は、実施の形態 5 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 11 は、実施の形態 5 における燃料電池発電システムの動作を示すフローチャートである。

図 12 は、実施の形態 6 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 13 は、実施の形態 6 における燃料電池発電システムの動作を示すフローチャートである。

図 14 は、実施の形態 7 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 15 は、実施の形態 7 における燃料電池発電システムの動作を示すフローチャートである。

図 16 は、実施の形態 8 における燃料電池発電システムを示す構成図である。

図 17 は、実施の形態 8 における燃料電池発電システムの動作を示す

フローチャートである。

図 18 は、実施の形態 8 における燃料電池発電システムの動作を説明する為の図である。

図 19 は、本発明の燃料電池発電システムの実施例の運転状態を示すグラフである。

図 20 は、本発明の燃料電池発電システムの比較例の運転状態を示すグラフである。

(符号の説明)

- 1、11 燃料電池
- 2、12 改質器
- 3、13 バーナ
- 4 変成器
- 5、15 脱硫器
- 6、7、16、17 遮断弁
- 8、18、28 流量制御弁
- 9 温度センサ
- 10 劣化診断部
- 14 一酸化炭素除去器
- 19 原料ガス流量計
- 20 水蒸気流量計
- 21 燃料ガス流量計
- 22 劣化度検出部
- 23 差圧計
- 24 水蒸気濃度計
- 25 寿命診断部

- 26 バーナ制御手段
- 27 DC-ACインバータ
- 29 流量制御弁制御手段
- 30 入力電流制御手段
- 31 インバータ制御手段

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。なお、図1の点線で示す矢印は、検出した信号の流れを示している。

本実施の形態1における燃料電池発電システムは、燃料ガスと酸化剤ガスを用いて発電を行う燃料電池11を備えている。また、原料ガスである都市ガスを水蒸気改質することにより水素リッチな燃料ガスを生成する改質器12を備えている。また、燃焼ガスとしての都市ガスまたは燃料電池11から排出される排気燃料ガスを燃焼することにより改質器12の温度維持を行なうバーナ13を備えている。

また、改質器12で生成される燃料ガスに含まれる一酸化炭素を低減させる一酸化炭素除去器14と、都市ガスに含まれる腐臭成分を除去する脱硫器15を備えている。

また、原料ガスおよび燃焼ガスの供給／遮断を行なう遮断弁16および遮断弁17を備えている。また、原料ガスの流量を制御する流量制御弁18を備えている。また、原料ガスの流量を検出する原料ガス流量計19と、改質器12に供給される水蒸気の流量を検出する水蒸気流量計

20と、改質器12出口の燃料ガスの流量を検出する燃料ガス流量計21を備えている。

また、原料ガス流量計19、水蒸気流量計20および燃料ガス流量計21からの信号を受けて改質器12の劣化度を検出する劣化度検出部22を備えている。

なお、原料ガス、原料ガス流量計19、水蒸気流量計20、燃料ガス流量計21、劣化度検出部22は、それぞれ本発明の、原料、原料流量検出手段、水蒸気流量検出手段、燃料ガス流量検出手段、劣化度検出手段としての具体的な一例である。また、一酸化炭素除去器14としては、水蒸気によりシフト反応を行なう変成器と酸素により酸化反応をさせる一酸化炭素選択酸化器のいずれか一方、もしくは両方が考えられる。

次に、本実施の形態1における燃料電池発電システムの動作について説明するとともに、これにより、本発明の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法について説明を行う。なお、以下の実施の形態についても、それぞれ本発明の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法について説明を行うものとする。

システム外部から供給された原料ガスとしての都市ガスは、脱硫器15で腐臭成分が除去された後、水蒸気とともに改質器12に供給される。そして、原料ガスは、改質器12で水蒸気改質され、さらに一酸化炭素除去器14で一酸化炭素濃度が低減されて、水素リッチな燃料ガスとして燃料電池11に供給される。

一方、燃料電池11には酸化剤ガスとしての反応空気が供給されており、燃料ガスと反応空気とが電気化学的に反応して発電を行なう。この燃料電池11で発生した直流電流は、DC-ACインバータ（図示せず）で交流電力に変換された後、外部負荷へ供給される。また、燃料電池11で発電に使用されなかった水素を含む排気燃料ガスは、バーナ13

に供給され、改質器 1 2 を加熱する燃料として使用される。なお、燃料電池発電システムの起動時には、遮断弁 1 7 を開けて都市ガスをバーナ 1 3 で燃焼させ、改質器 1 2 を昇温する。また、供給される原料ガス流量は流量制御弁 1 8 で制御される。

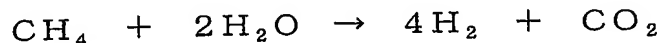
次に、改質器 1 2 の劣化度の検出動作について、図 1 と図 5 を用いて説明する。図 5 は、改質器 1 2 の劣化度を検出する際の運転方法を示すフローチャートである。

まず、原料ガスの流量を原料ガス流量計 1 9 で検出する（ステップ S 1）。次に、改質用水蒸気の流量を水蒸気流量計 2 0 で検出する（ステップ S 2）。さらに、改質器 1 2 により生成される燃料ガスの流量を燃料ガス流量計 2 1 で検出する（ステップ S 3）。劣化度検出部 2 2 は、これらの各流量検出信号を受信し、検出された原料ガス流量と水蒸気流量から改質器 1 2 におけるメタン転化率と燃料ガス所定流量の関係を算出する。そして、劣化度検出部 2 2 は、この算出したメタン転化率と燃料ガス所定流量の関係と、実際に検出された燃料ガス流量とを比較する（ステップ S 4）。これによって得られる改質器 1 2 におけるメタン転化率の低下割合から、改質器 1 2 の劣化度を算出する（ステップ S 5）。

本実施の形態 1 の燃料電池発電システムの改質器 1 2 における劣化度の算出動作の原理は次のとおりである。

改質器 1 2 では、（化 1）に示す改質反応によりメタンから水素が生成される。

（化 1）



メタン転化率が 100% の場合、1 NL/min のメタンと 2 NL/min の水蒸気から、4 NL/min の水素と 1 NL/min の二酸化

炭素が生成される。つまり、全体の流量は 3 NL/min から 5 NL/min に増加する。

また、メタン転化率が 50% の場合、 1 NL/min のメタンと 2 NL/min の水蒸気から、 2 NL/min の水素と 0.5 NL/min の二酸化炭素が生成され、 0.5 NL/min のメタンと 1 NL/min の水蒸気が残る。この場合には、全体の流量は 3 NL/min から 4 NL/min に増加するが、全体の流量の増加量は、メタン転化率が 100% の場合よりも減少している。

本実施の形態 1 の改質器 12 における劣化度の検出動作は、このようにメタン転化率の変化によって、同じ組成のインプット流量に対するアウトプット流量が変化すること、具体的に言えば、メタン転化率が減少すると、同じ組成のインプット流量（メタンの流量と水蒸気の流量の和）に対するアウトプット流量（改質器 12 で生成された水素リッチな燃焼ガスの流量）の増分が減少することを利用している。当然、原料ガスとしての都市ガスには、メタンのほかにエタン、ブタン、プロパン等も含まれるが、メタン以外についても同様のことが言える。また、もちろん、改質器 12 には（化 1）の理論比以上に水蒸気を供給するが、そのことも考慮して算出し比較する。

すなわち、本実施の形態 1 における燃料電池発電システムの構成および運転方法によれば、原料ガス流量計 19 および水蒸気流量計 20 および燃料ガス流量計 21 および劣化度検出部 22 を備えることにより、原料ガス流量および水蒸気流量から予め算出される改質器 12 固有のメタン転化率と燃料ガス所定流量の関係と、実際に検出された燃料ガス流量とを比較することができ、改質器 12 のメタン転化率の低下割合から改質器 12 の劣化度を算出することができる。

なお、本実施の形態 1 の燃料電池発電システムでは、改質器 12 の劣

化度として、より好ましい「メタン転化率」を用いる場合について説明したが、たとえば別の劣化度を用いる方法として、「原料流量と水蒸気流量に対して、予め燃料ガス流量と燃料ガス中の水素濃度の相関を実験的に求め、それらのデータと比較する」ことによって行なうことも可能である。

また、本実施の形態 1 の燃料電池発電システムでは、燃料ガス流量計 21 を改質器 12 と一酸化炭素除去器 14 の間に配置したが、メタン転化率は改質器 12 の性能で決まるため、一酸化炭素除去器 14 と燃料電池 11 との間に配置しても同様である。また、本実施の形態 1 の燃料電池発電システムでは、「改質反応に必要な水是水蒸気として供給し、その供給水蒸気の流量を水蒸気流量計 20 で測定する」構成としたが、「改質反応に必要な水蒸気を水（液体）で供給し、その供給水流量を水用流量計で測定する」構成としても同様である。ただし、この場合は、水を蒸発させる蒸発部が水用流量計の下流に必要となる。

また、本実施の形態 1 の燃料電池発電システムでは、図 5 のフローチャートに示すように、劣化度検出部 22 は、改質器 12 には（化 1）の理論比以上に水蒸気を供給されることから、そのことも考慮して算出し比較するものとして説明を行ったが、改質器 12 の実際の運転条件を考慮せず、測定値としての原料流量と水蒸気流量および理論比のみに基づいて、理想値としての燃料ガス流量を算出し、これを検出された燃料ガス流量の実測値と比較して、メタン転化率を求めるようにしてもよい。この場合、劣化度検出部 22 の演算方式をより簡略化し、汎用性を高めることができる効果がある。

（実施の形態 2）

図 2 は、本発明の実施の形態 2 に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図 1 と同部材かつ同機能を有するものについては

同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図 2 の点線で示す矢印は、検出した信号の流れを示している。

本実施の形態 2 における燃料電池発電システムでは、図 1 の燃料ガス流量計 21 の代わりに、改質器 12 の燃料ガスが排出される改質器 12 の下流側流路に差圧計 23 を備えている。また、本実施の形態 2 における燃料電池発電システムの動作は、実施の形態 1 と同様であるので説明を省略する。なお、差圧計 23 は、本発明の差圧検出手段の一例である。

次に、本実施の形態 2 における燃料電池発電システムの改質器 12 の劣化度の検出動作について、図 2 と図 6 を用いて説明する。図 6 は、改質器 12 の劣化度を検出する際の運転方法を示すフローチャートである。

まず、原料ガスの流量を原料ガス流量計 19 で検出する（ステップ S 11）。次に、改質用水蒸気の流量を水蒸気流量計 20 で検出する（ステップ S 12）。さらに、改質器 12 により生成される燃料ガスの、改質器 12 の下流側流路における所定の 2 点間の圧力の差を差圧計 23 で測定する（ステップ S 13）。劣化度検出部 22 は、これらの各流量検出信号および差圧測定信号を受信し、検出された原料ガス流量と水蒸気流量から改質器 12 におけるメタン転化率と下流側流路における流体差圧の関係を算出する。そして、劣化度検出部 22 は、この算出したメタン転化率と下流側流路における流体差圧の関係と、実際に検出された下流側流路における流体差圧の値とを比較する（ステップ S 14）。これによって得られる改質器 12 のメタン転化率の低下割合から改質器 12 の劣化度を算出する（ステップ S 15）。

本実施の形態 2 の燃料電池発電システムの改質器 12 における劣化度の算出動作は、メタン転化率変化による流量変化に従い、測定区間の流体圧力損失が変化すること、具体的に言えば、改質器 12 が劣化した後の燃料ガスの差圧が、改質器 12 が劣化する前の燃料ガスの差圧よりも

減少することを利用している。本実施の形態 2 で使用した差圧計 2 3 は、実施の形態 1 で用いた燃料ガス流量計 2 1 に比べて低コスト化を図ることができるとともに、高温下でも安定して作動し、流体の脈動に対しても正確に測定できるという利点がある。

なお、上記の構成においては、劣化度検出部 2 2 は、改質器 1 2 には (化 1) の理論比以上に水蒸気を供給されることから、そのことも考慮して算出し比較するものとして説明を行ったが、改質器 1 2 の実際の運転条件を考慮せず、測定値としての原料流量と水蒸気流量および理論比のみに基づいて、理想値としての燃料ガスの差圧を算出し、これを検出された燃料ガスの差圧の実測値と比較して、メタン転化率を求めるようにしてもよい。

(実施の形態 3)

図 3 は、本発明の実施の形態 3 に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図 1 と同部材かつ同機能を有するものについては同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図 3 の点線で示す矢印は、検出した信号の流れを示している。また、本実施の形態 3 における燃料電池発電システムの動作は、実施の形態 1 と同様であるので説明を省略する。

本実施の形態 3 における燃料電池発電システムでは、図 1 の燃料ガス流量計 2 1 の代わりに、改質器 1 2 と一酸化炭素除去器 1 4 との間の燃料ガス流路に水蒸気濃度計 2 4 を備えている。なお、水蒸気濃度計 2 4 は、本発明の濃度検出手段の一例である。

次に、本実施の形態 3 における燃料電池発電システムの改質器 1 2 の劣化度の検出動作について、図 3 と図 7 を用いて説明する。図 7 は、改質器 1 2 の劣化度を検出する際の運転方法を示すフローチャートである。

まず、原料ガスの流量を原料ガス流量計 1 9 で検出する (ステップ S

21)。次に、改質用水蒸気の流量を水蒸気流量計20で検出する（ステップS22）。

さらに、改質器12により生成される燃料ガス中の水蒸気濃度を水蒸気濃度計24で検出する（ステップS23）。劣化度検出部22は、これらの各流量検出信号および水蒸気濃度信号を受信し、検出された原料ガス流量と水蒸気流量から改質器12におけるメタン転化率と燃料ガス中の水蒸気所定濃度の関係を算出する。

そして、劣化度検出部22は、この算出したメタン転化率と燃料ガス中の水蒸気所定濃度の関係と、実際に検出された燃料ガス中の水蒸気濃度とを比較する（ステップS24）。これによって得られる改質器12のメタン転化率の低下割合から改質器12の劣化度を算出する（ステップS25）。

本実施の形態3の燃料電池発電システムの改質器12における劣化度の算出動作の原理は次のとおりである。

改質器12では、（化1）に示す改質反応によりメタンから水素が生成される。

メタン転化率が100%の場合、 $1\text{NL}/\text{min}$ のメタンと $2\text{NL}/\text{min}$ の水蒸気から、 $4\text{NL}/\text{min}$ の水素と $1\text{NL}/\text{min}$ の二酸化炭素が生成される。つまり、燃料ガス中の水蒸気濃度は0%となる。

また、メタン転化率が50%の場合、 $1\text{NL}/\text{min}$ のメタンと $2\text{NL}/\text{min}$ の水蒸気から、 $2\text{NL}/\text{min}$ の水素と $0.5\text{NL}/\text{min}$ の二酸化炭素が生成され、 $0.5\text{NL}/\text{min}$ のメタンと $1\text{NL}/\text{min}$ の水蒸気が残る。この場合には、燃料ガス中の水蒸気濃度は25%となる。

本実施の形態3の改質器12における劣化度の算出動作は、このようにメタン転化率の変化によって、同じ組成のインプット流量に対するア

ウトプットの燃料ガス中の水蒸気濃度が変化することを利用している。当然、原料ガスとしての都市ガスには、メタンのほかにエタン、ブタン、プロパン等も含まれるが、メタン以外についても同様のことが言える。また、もちろん、改質器 1 2 には水蒸気を（化 1）の理論比以上に供給するが、そのことも考慮して算出し比較する。

すなわち、本実施の形態 2 における燃料電池発電システムの構成および運転方法によれば、原料ガス流量計 1 9 および水蒸気流量計 2 0 および水蒸気濃度計 2 4 および劣化度検出部 2 2 を備えることにより、原料ガス流量および水蒸気流量から予め算出されるメタン転化率と水蒸気所定濃度の関係と、実際に検出された水蒸気濃度とを比較することができ、改質器 1 2 のメタン転化率の低下割合から改質器 1 2 の劣化度を算出することができる。

なお本実施の形態 3 の燃料電池発電システムでは、改質器 1 2 の劣化度として、より好ましい「メタン転化率」を用いる場合について説明をしたが、たとえば別の劣化度を用いる方法として、「原料流量と水蒸気流量に対して、予め燃料ガス中の水蒸気濃度と水素濃度の相関を実験的に求め、それらのデータと比較する」ことによって行なうことも可能である。

また、本実施の形態 3 の燃料電池発電システムでは、水蒸気濃度計 2 4 を改質器 1 2 と一酸化炭素除去器 1 4 の間に配置したが、メタン転化率は改質器 1 2 の性能で決まるため、一酸化炭素除去器 1 4 と燃料電池 1 1 との間に配置しても同様である。また、本実施の形態 3 の燃料電池発電システムでは、「改質反応に必要な水は水蒸気として供給し、その供給水蒸気の流量を水蒸気流量計 2 0 で測定する」構成としたが、「改質反応に必要な水蒸気を水（液体）で供給し、その供給水流量を水用流量計で測定する」構成としても同様である。ただし、この場合は、水を

蒸発させる蒸発部が水用流量計の下流に必要となる。

また、改質器 1 2 で生成される燃料ガスに含まれる水蒸気の濃度を検出する手段として露点計を用いることができる。この場合、水分量を正確に検出できるため有用である。

また、改質器 1 2 で生成される燃料ガスに含まれる水蒸気の濃度を検出する手段として相対湿度を測定する湿度計を用いることもできる。この場合、システムを低コスト化できるとともにコンパクト化もできるため有用である。

また、図 7 のフローチャートに示すように、劣化度検出部 2 2 は、改質器 1 2 には（化 1）の理論比以上に水蒸気を供給されることから、そのことも考慮して算出し比較するものとして説明を行ったが、改質器 1 2 の実際の運転条件を考慮せず、測定値としての原料流量と水蒸気流量および理論比のみに基づいて、理想値としての燃料ガス流量を算出し、これを検出された燃料ガス流量の実測値と比較して、メタン転化率を求めるようにしてもよい。

また、上記の説明においては、改質器 1 2 で生成される燃料ガスに含まれる水蒸気の濃度を検出し、これと、原料ガス流量および水蒸気流量から予め算出されるメタン転化率と水蒸気所定濃度の関係とを比較することにより改質器 1 2 の劣化度を求めることとしたが、本発明の濃度検出手段は、ガス分析計等を用いた、燃料ガスに含まれるメタン等の原料ガスの濃度を直接検出する手段として実現してもよい。この場合、直接原料ガスの濃度を得られるために、より精度の高いメタン転化率の算出が可能となる。

（実施の形態 4）

図 4 は、本発明の実施の形態 4 に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図 1 と同部材かつ同機能を有するものについては

同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図 4 の点線で示す矢印は、検出した信号または算出した信号の流れを示している。

本実施の形態 4 における燃料電池発電システムでは、図 1 に示す実施の形態 1 の燃料電池発電システムの構成に加えて、劣化度検出部 22 での劣化度の算出値をもとに改質器 12 の取替え時期を判定する寿命診断部 25 をさらに備えている。なお、寿命診断部 25 は、本発明の寿命診断手段の一例である。なお、本実施の形態 4 における燃料電池発電システムの動作は、実施の形態 1 と同様であるので説明を省略する。

本実施の形態 4 における燃料電池発電システムの改質器 12 の取替え時期を判定する寿命診断動作について、図 4 と図 8 を用いて説明する。図 8 は、改質器 12 の取替え時期を判定する際の運転方法を示すフローチャートである。図 8 に示すステップ S 1 から S 5 については、図 5 で説明した実施の形態 1 のステップと同様なので説明を省略する。

寿命診断部 25 は、実施の形態 1 について図 5 で説明したステップ S 5 により劣化度検出部 22 が算出したメタン転化率を受け、メタン転化率と発電時間の関係からメタン転化率の低下速度を求める（ステップ S 6）。そして、メタン転化率の低下速度から、燃料電池 11 が発電可能なメタン転化率の下限値に至るまでの期間を算出する（ステップ S 7）。そして、改質器 12 の取替え時期を判定し寿命診断をする（ステップ S 8）。

すなわち、本実施の形態 4 における燃料電池発電システムの構成および運転方法によれば、実施の形態 1 の燃料電池発電システムに加えて寿命診断部 25 をさらに備えることにより、メタン転化率と発電時間の関係からメタン転化率の低下速度を求め、改質器 12 の取替え時期を判定し寿命診断をすることができる。

なお、本実施の形態 4 の燃料電池発電システムは、実施の形態 1 の燃

料電池発電システムおよびその運転方法からの発展形として説明したが、他の実施の形態の燃料電池発電システムおよびその運転方法からの発展形としても同様に実施できる。

以上説明したことから明らかなように、改質ガス温度を一定温度に制御する本発明の燃料電池発電システムでは、改質器の劣化検出をその場で瞬時に且つ連続的に行い、改質触媒の取替時期を判定することが可能である。

(実施の形態 5)

図 10 は、本発明の実施の形態 5 に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図 1 と同部材かつ同機能を有するものについては同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図 10 の点線で示す矢印は、検出した信号または算出した信号の流れを示している。

本実施の形態 5 における燃料電池発電システムは、改質器 12 の劣化がもたらす、燃料ガス中の水素の減少に伴う、燃料電池 11 の電圧低下に起因する出力電力減少を改善するものである。一般に燃料電池 11 は、水素リッチな燃料ガスの流れ方向にスタックされ、燃料ガスが通過する複数のセルからなるが、改質器が劣化し、燃料ガス中の水素が燃料ガスの流れ上流側のセルにて消費されてしまい、下流側ではほとんど起電力を発生しなくなってしまうため、直列接続されたセルからなる燃料電池 11 の電圧が低下してしまう。また燃料ガスの流量が低下するため、発生する電流量が減少し、ひいては得られる電力量も減少してしまう。

本実施の形態以下の燃料システムは、改質器 12 の劣化にともなう上記の問題を解消するものであり、図 1 に示す実施の形態 1 の燃料電池発電システムの構成に加えて、劣化度検出部 22 での劣化度を受けてバーナ 13 の動作を制御するバーナ制御手段 26 をさらに備えている。なお、バーナ制御手段 26 およびバーナ 13 は、本発明の改質器加熱手段の

構成の一例である。また、燃料電池 11 から図示しない負荷に交流電力を供給するための、DC-AC インバータ 27 も示した。

本実施の形態 5 における燃料電池発電システムの、改質器 12 の劣化度を受けた改質器 12 の反応温度を上昇させる動作を図 10 と図 11 を用いて説明するとともに、本発明の燃料電池発電方法について説明を行う。なお、以下の実施の形態についても、それぞれ本発明の燃料電池発電方法について説明を行うものとする。

図 11 は、改質器 12 の昇温動作を行う際の運転方法を示すフローチャートである。

図 11 に示すステップ S1 から S3 については、図 5 で説明した実施の形態 1 のステップと同様であり、また S31 は S4 および S5 をひとくくりにしたステップであるので説明を省略する。

次に、劣化度判定部 22 から得られた劣化度としてのメタン転化率 ϕ と、燃料ガス流量 Q_3 とを受けて、バーナ制御手段 26 は、現在改質器 12 が生成可能な生成水素量 Q_4 を演算する (S32)。さらに、この生成水素量 Q_4 に基づいて、燃料電池 11 が発電可能な出力直流電流 A_1 を演算する (S33)。

さらに、DC-AC インバータ 27 の運転状態を参照して、現在の交流発電量 W_n における出力直流電流 A_n に対して、 $A_n > A_1$ であるかどうかの判定を行う (S34)。 $A_n > A_1$ ならば、バーナ制御手段 26 は、改質器 12 の反応温度を ΔT だけ上昇させるように、都市ガスの供給量を増加させるなど、バーナ 13 の火力を上げる制御を行い、S3に戻る (S35)。改質器 12 の温度が上昇すると、メタン転化率は改善に転じ、良好な燃料ガスが燃料電池 11 に供給され、適切な電圧を得ることができる。

一方、 $A_n \leq A_1$ ならば、バーナ制御手段 26 は、改質器の反応温度

を現状維持するように制御を行う。現在の交流発電量 W_n は維持される（S36）。

（実施の形態6）

図12は、本発明の実施の形態6に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図1と同部材かつ同機能を有するものについては同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図12の点線で示す矢印は、検出した信号または算出した信号の流れを示している。

本実施の形態の燃料システムは、図1に示す実施の形態1の燃料電池発電システムの構成に加えて、水蒸気の供給量を可変する流量制御弁28および劣化度検出部22での劣化度を受けて流量制御弁28の動作を制御する流量制御弁制御手段29をさらに備えている。なお、流量制御弁28および流量制御弁制御手段29は、本発明の水蒸気流量制御手段の構成の一例である。また、実施の形態5の場合と同様、燃料電池11から図示しない負荷に交流電力を供給するための、DC-ACインバータ27も示した。

本実施の形態6における燃料電池発電システムの、改質器12の動作を図12と図13を用いて説明する。図13は、改質器12への水蒸気供給動作を行う際の運転方法を示すフローチャートである。

図13に示すステップS1からS3については、図5で説明した実施の形態1のステップと同様であり、またS31はS4およびS5をひとくくりにしたステップであり、またS32～34およびS36は、実施の形態5の図11のフローチャートと同様である。すなわち本実施の形態は、劣化度判定部22から得られた劣化度としてのメタン転化率 ϕ と、燃料ガス流量 Q_3 とを受けて、流量制御弁制御手段29が、現在改質器12が生成可能な生成水素量 Q_4 を演算する（S32）。さらに、この生成水素量 Q_4 に基づいて、燃料電池11が発電可能な出力直流電流

A 1 を演算する (S 3 3)。

さらに、DC-ACインバータ 2 7 の運転状態を参照して、現在の交流発電量 W_n における出力直流電流 A_n に対して、 $A_n > A_1$ であるかどうかの判定を行う (S 3 4)。 $A_n > A_1$ ならば、流量制御弁制御手段 2 9 は、改質器 1 2 への水蒸気流量を ΔQ_2 だけ上昇させるように、流量制御弁 2 8 の開度を大きくする制御を行う (S 4 1)。改質器 1 2 への水蒸気供給量が増加すると、改質反応の平衡状態が水素生成側へシフトし、メタン転化率は改善に転じ、良好な燃料ガスが燃料電池 1 1 に供給され、適切な電圧を得ることができる。

一方、 $A_n \leq A_1$ ならば、流量制御弁制御手段 2 9 は、流量制御弁 2 8 の開度を現状維持する。現在の交流発電量 W_n は維持される (S 3 6)。

(実施の形態 7)

図 1 4 は、本発明の実施の形態 6 に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図 1、図 1 2 と同部材かつ同機能を有するものについては同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図 1 4 の点線で示す矢印は、検出した信号または算出した信号の流れを示している。

本実施の形態の燃料システムは、図 1 4 に示す実施の形態 6 の燃料電池発電システムの構成に加えて、流量制御弁制御手段 2 9 が、さらに都市ガスの流量制御弁 1 8 も制御する構成とした点が異なる。

本実施の形態 6 における燃料電池発電システムの、改質器 1 2 の劣化度を受けた改質器 1 2 の反応温度を上昇させる動作を図 1 4 と図 1 5 を用いて説明する。図 1 5 は、改質器 1 2 への水蒸気および原料ガスとしての都市ガスの供給動作を行う際の運転方法を示すフローチャートである。ただし実施の形態 6 と同様のステップは省略し、相違点を中心に述

べる。すなわち、S 3 4において、現在の出力直流電流 $A_n >$ 発電可能な出力直流電流 A_1 と判断した場合、流量制御弁制御手段 2 9 は、改質器 1 2 への水蒸気流量を ΔQ_2 だけ上昇させるように、流量制御弁 2 8 の開度を大きくする制御を行い (S 4 1)、この後に改質器 1 2 への都市ガスの流量を ΔQ_1 だけ上昇させるように、流量制御弁 1 8 の開度を大きくする制御を行う (S 4 2)。

ここで水蒸気流量を制御した後に都市ガスの流量を制御する理由は以下の通りである。すなわち、先に原料ガスを単独で増やすと (1) 燃料ガスの露点が下がり、燃料電池 1 1 の寿命が短くなる恐れがある、(2) また燃料ガスに占める水蒸気割合が少なくなると、改質器 1 2 内部でメタン (CH_4) の炭素が析出し、改質器 1 2 の触媒の性能が低下する恐れがある、(3) 一酸化炭素除去器 1 4 での一酸化炭素 (CO) 除去能力が低下し、燃料ガス中の CO が多くなり、燃料電池 1 1 が CO 被毒する恐れがある、等の不具合がある。したがって、実施の形態 6 および本実施の形態においては、原料ガスの供給量を単独で制御すること、および原料ガスの供給量の増加を、水蒸気の供給量の増加に先だって制御することは実行しない。

以上の制御により、改質器 1 2 には、水蒸気供給量に併せて都市ガスの供給量も増加される。これにより実施の形態 6 と同様の原理によりメタン転化率が改善に転ずることと併せて、改質反応に必要な原料ガスおよび水蒸気の絶対量が増加することにより、発生する燃料ガスの総量も増加することで、燃料電池 1 1 に必要な都市ガスを供給して適切な電圧を得ることができる。

(実施の形態 8)

図 1 6 は、本発明の実施の形態 8 に係る燃料電池発電システムを示す構成図である。ただし、図 1 と同部材かつ同機能を有するものについて

は同一符号を付与しており、説明を省略する。なお、図 1 6 の点線で示す矢印は、検出した信号または算出した信号の流れを示している。

本実施の形態の燃料システムは、図 1 に示す実施の形態 1 の燃料電池発電システムの構成に加えて、燃料電池 1 1 から図示しない負荷に交流電力を供給するための、DC-ACインバータ 2 7 が、燃料電池 1 1 から引き出す電流量を制御するための入力電流制御手段 3 0 および劣化度検出部 2 2 での劣化度を受けて入力電流制御手段 3 0 の動作を制御するインバータ制御手段 3 1 をさらに備えている。なお、入力電流制御手段 3 0 およびインバータ制御手段 3 1 は、本発明の発電出力制御手段の一例である。

本実施の形態 8 における燃料電池発電システムは、改質器 1 2 の劣化がもたらす、燃料ガス中の水素の減少に伴う、燃料電池 1 1 の電圧低下に対し、燃料電池 1 1 の発電出力を低減することにより、DC-ACインバータ 2 7 の安定動作を確保するものである。

本実施の形態 8 における燃料電池発電システムの、改質器 1 2 の劣化度を受けた燃料電池 1 1 からの発電出力低減動作を図 1 6 と図 1 7 を用いて説明する。図 1 7 は、燃料電池 1 1 からの発電出力低減動作を行う際の運転方法を示すフローチャートである。

図 1 7 に示すステップ S 1 から S 3 については、図 5 で説明した実施の形態 1 のステップと同様であり、また S 3 1 は S 4 および S 5 をひとくくりにしたステップであり、また S 3 2 ~ S 3 4 および S 3 6 は、実施の形態 5 の図 1 1 のフローチャートと同様である。

すなわち本実施の形態は、劣化度判定部 2 2 から得られた劣化度としてのメタン転化率 ϕ と、燃料ガス流量 Q_3 とを受けて、インバータ制御手段 3 1 が、現在改質器 1 2 が生成可能な生成水素量 Q_4 を演算する (S 3 2)。さらに、この生成水素量 Q_4 に基づいて、燃料電池 1 1 が発

電可能な出力直流電流 A_1 を演算する（S33）。

さらに、DC-ACインバータ27の運転状態を参照して、現在の交流発電量 W_n における出力直流電流 A_n に対して、 $A_n > A_1$ であるかどうかの判定を行う（S34）。 $A_n > A_1$ ならば、インバータ制御手段31は、インバータ27の入力電流制御手段30が燃料電池11から引き出す電流量を低減するように制御する（S51）。燃料電池11からの電流量が低減されることにより、燃料電池11が出力するDC-ACインバータ27への電力は低減されることになる。また、入力電流制御手段30は、燃料電池11の電圧に対する制御は行わないが、燃料電池11の電圧は上昇する。

したがって、燃料電池11については、電流値を低減させることで電力が低減させる一方、電圧は高く保たせることができる。

燃料電池11は電圧が低くなっても電力を供給することができるが、負荷に交流電力として燃料電池の電力を変換して供給するDC-ACインバータ27は、所定の電圧値以下となると動作しなくなる。図18に示すように、改質器12の劣化による転化率 ϕ に起因して、燃料電池11が供給可能な電圧、電流はともに劣化するが、DC-ACインバータ27が動作可能な入力下限電圧 V_t に対応する電流量も低下する。

燃料電池11に供給される燃料ガスが一定であるとき、劣化前の場合、入力下限電圧 V_t に対する電流量は大きい。劣化後は図中点線に示す直線のように、必要な電流量を得られなくなる。燃料ガスの供給量を増加すればこれは解消されるが、改質器12の劣化度が高くなり、メタン転化率が悪化している状態で燃料ガスを供給することは原料ガスおよび水蒸気の浪費を招くことになる。

そこで本実施の形態は、劣化による電流-電圧曲線の傾きの変化を利用して、電流量を低減することにより燃料電池の電圧を入力下限電圧 V

t 以上となるように保ち、DC-ACインバータ 27 が動作可能な時間をより長く保つようにしている。燃料電池 11 から引き出せる電力量は低減されるが、負荷に対する不足分は図示しない系統電力により供給することになる。

一方、 $A_n \leq A_1$ ならば、インバータ制御手段 31 は、入力電流制御手段 30 の動作状態を現状維持する。現在の交流発電量 W_n は維持される (S36)。

このように、本実施の形態によれば、改質器 12 の劣化を受けても、燃料電池 11 からの電力量を低減することにより、一定の原料ガス、水蒸気の供給条件の下でも、長期間システムを動作可能な状態におくことが可能となる。

以上、実施の形態 5～8 において、改質器 12 のメタン転化率の低下としての劣化度を受けて、燃料電池発電システムを良好に動作させるための構成を説明したが、これら各実施の形態は、個別に実施してもよいし、複数の構成を任意に組み合わせて実施してもよい。

実施の形態 5～8 の全構成を備えた燃料電池発電システムを実施例として以下に示す。

(実施例)

本実施例の燃料電池発電システムは、劣化度検出部 22 が改質器 12 の劣化度を検出すると、(1) 実施の形態 5 の動作 (2) 実施の形態 6 の動作 (3) 実施の形態 7 の動作 (4) 実施の形態 8 の動作をそれぞれ順番に追加して行うことにより、システムの動作の安定化を図る。さらに詳細には、最初に改質器の劣化が検出されると実施の形態 5 の改質器 12 の加熱動作を行い、以後はこの動作をバックグラウンドで行いながら、上記 (2)～(4) の動作を平行させて実行する。

燃料電池 11 として通常運転時の定格出力 1000W のものを用い、

連続運転を試みた場合の発電時間毎の流量 (L/min)、メタン転化率 (%)、改質器 12 の温度 ($^{\circ}C$)、燃料電池 11 の出力電力 (W) の推移をグラフとして図 19 に示す。

図 19 に示すように、運転時間が 1000 時間に達したあたりから転化率の低下が見られ、1700 時間を経過したあたりで、転化率が 80% 近くまで低下したため、バーナ制御手段 26 により、改質器 12 の反応温度を ΔT として $30^{\circ}C$ 上昇するようバーナ 13 の火力を上げる制御を行った。これにより転化率は回復し、改質器 12 へ供給する水蒸気流量、原料ガス流量および燃料電池 11 の電力出力のいずれも運転開始当初の状態を維持できている。

次に、運転時間が 3400 時間を経過したあたりで、転化率が再び 80% まで低下したため、今度は流量制御弁制御手段 29 が、改質器 12 への水蒸気流量を ΔQ_2 として $2 L/min$ だけ上昇させるように、流量制御弁 28 の開度を大きくする制御を行った。これにより転化率は再び初期状態に回復し、改質器 12 へ供給する原料ガス流量および燃料電池 11 の電力出力のいずれも運転開始当初の状態を維持できている。

さらに運転時間が 4800 時間を経過したあたりで、転化率が再び 80% まで低下したため、今度は流量制御弁制御手段 29 が、改質器 12 への水蒸気流量および原料ガス流量小刻みに増加させるよう、流量制御弁 18 および 28 の開度を断続的に大きくする制御を行った。これにより転化率の大幅な低下を抑えつつ、燃料ガスの生成量を増加させることにより、交流出力を初期状態に維持している。

さらに運転時間が 6300 時間を経過したあたりで、流量制御弁制御手段 29 の制御上限に達したため、水蒸気流量および原料ガス流量の供給量を最大値 (水蒸気 $5 L/min$ 、原料ガス $17.5 L/min$) で固定し、入力電流制御手段 30 が制御するインバータ制御手段 31 を制

御して、燃料電池 11 からの交流出力を減少させる。減少した電力分は外部の系統電力で補う。最終的に、転化率が 62% 近くを割り込むと、燃料電池 11 の電圧は、DC-AC インバータ 27 が動作可能な入力下限電圧 V_t 以下となり、システムの運転は開始後約 7000 時間で停止する。

(比較例)

一方、実施の形態 1 と同一構成であって、実施の形態 5～8 の構成を有さない燃料電池発電システムを比較例とした。上記実施例と同様、燃料電池 11 として通常運転時の定格出力 1000W のものを用い、連続運転を試みた場合の発電時間毎の流量 (L/min)、メタン転化率 (%)、改質器 12 の温度 (°C)、燃料電池 11 の出力電力 (W) の推移をグラフとして図 20 に示す。

図 20 に示すように、運転時間が 1000 時間に達したあたりから転化率の低下が見られ、1700 時間を経過したあたりで、転化率が 80% 近くまで低下した。1800 時間を経過したあたりで燃料電池 11 の出力電力に低下が見られるようになり、転化率が 77% 近くを割り込むと、燃料電池 11 の電圧が、DC-AC インバータ 27 が動作可能な入力下限電圧 V_t 以下となり、システムの運転は開始後約 1900 時間で停止した。

このように、実施の形態 5～8 を同時に実施した構成とすることにより、燃料電池発電システムの運転時間を向上させることが可能となることがわかった。なお、(1) 実施の形態 5 の動作 (2) 実施の形態 6 の動作 (3) 実施の形態 7 の動作 (4) 実施の形態 8 の動作、の順に実行するものとしたが、運転の都合に応じて、順序を入れ替える、不要な動作を省く等してもよい。ただし、実施の形態 6 の動作と 7 の動作だけは、この順を保つようにすることが望ましい。

なお、本発明にかかるプログラムは、上述した本発明の燃料電池発電システムの全部または一部の手段の機能をコンピュータにより実行させるためのプログラムであって、コンピュータと協働して動作するプログラムであってもよい。

また、本発明は、上述した本発明の燃料電池発電システムの全部または一部の手段の全部または一部の機能をコンピュータにより実行させるためのプログラムを担持した媒体であり、コンピュータにより読み取り可能且つ、読み取られた前記プログラムが前記コンピュータと協働して前記機能を実行する媒体であってもよい。

なお、本発明の上記「一部の手段」とは、それらの複数の手段の内の、幾つかの手段を意味し、あるいは、一つの手段の内の、一部の機能を意味するものである。

また、本発明のプログラムを記録した、コンピュータに読みとり可能な記録媒体も本発明に含まれる。

また、本発明のプログラムの一利用形態は、コンピュータにより読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータと協働して動作する態様であっても良い。

また、本発明のプログラムの一利用形態は、伝送媒体中を伝送し、コンピュータにより読みとられ、コンピュータと協働して動作する態様であっても良い。

また、本発明のデータ構造としては、データベース、データフォーマット、データテーブル、データリスト、データの種類などを含む。

また、記録媒体としては、ROM等が含まれ、伝送媒体としては、インターネット等の伝送機構、光・電波・音波等が含まれる。

また、上述した本発明のコンピュータは、CPU等の純然たるハードウェアに限らず、ファームウェアや、OS、更に周辺機器を含むもので

あっても良い。

なお、以上説明した様に、本発明の構成は、ソフトウェア的に実現しても良いし、ハードウェア的に実現しても良い。

産業上の利用可能性

本発明にかかる燃料電池発電システムおよびその改質器の劣化度検出方法は、改質ガス温度を一定温度に制御して運転する燃料電池発電システムの改質器の劣化検出を行うことができ、燃料電池発電システムおよびその改質器の劣化度検出方法、燃料電池発電方法等として有用である。

請 求 の 範 囲

1. 原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器と、

前記燃料ガスと酸化剤ガスを用いて発電を行なう燃料電池と、

前記改質器に供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出手段と、

前記改質器に供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出手段と、

前記改質器で生成される前記燃料ガスの流量を検出する燃料ガス流量検出手段と、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される燃料ガスの演算流量と、前記検出された燃料ガスの検出流量とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出手段とを備えた燃料電池発電システム。

2. 前記劣化度検出手段は、前記演算流量として、前記改質器が劣化していない場合に生成される燃料ガスの流量を演算する、請求の範囲第1項記載の燃料電池発電システム。

3. 前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように、前記改質器の反応温度を上昇させる改質器加熱手段をさらに備えた、請求の範囲第1項記載の燃料電池発電システム。

4. 前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記水蒸気流量を増加する制御を行う水蒸気流量制御手段をさらに備えた、請求の範囲第1項

記載の燃料電池発電システム。

5. 前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記原料流量を増加する制御を行う原料流量制御手段をさらに備えた、請求の範囲第4項記載の燃料電池発電システム。

6. 前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な出力以下に発電出力を低減する制御を行う発電出力制御手段をさらに備えた、請求の範囲第1項記載の燃料電池発電システム。

7. 前記改質器の前記劣化度と発電時間から劣化度低下速度を求め、前記燃料電池での発電が可能な前記改質器の劣化度の下限値に至るまでの期間を算出する寿命診断手段を備えた、請求の範囲第1項記載の燃料電池発電システム。

8. 前記劣化度検出手段は、前記改質器の前記劣化度としてメタン転化率を用いる、請求の範囲第1項記載の燃料電池発電システム。

9. 原料と水蒸気を反応させて水素リッチな燃料ガスを生成する改質器へ供給される前記原料の流量を検出する原料流量検出工程と、

前記改質器へ供給される前記水蒸気の流量を検出する水蒸気流量検出工程と、

前記改質器にて生成される前記燃料ガスの流量を検出する燃料ガス流量検出工程と、

前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される燃料ガスの演算流量と、前記検出された燃料ガスの検出流量とを比較することにより、前記改質器の劣化度を算出する劣化度検出工程とを備えた、燃料電池システムの改質器の劣化度検出方法。

10. 請求の範囲第9項記載の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行

う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように、前記改質器の反応温度を上昇させる改質器加熱工程を備えた、燃料電池発電方法。

1 1 .

請求の範囲第 9 項記載の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記水蒸気流量を増加する制御を行う水蒸気流量制御工程を備えた、燃料電池発電方法。

1 2 . 請求の範囲第 9 項記載の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記原料流量を増加する制御を行う原料流量制御工程を備えた、燃料電池発電方法。

1 3 . 請求の範囲第 9 項記載の燃料電池発電システムの改質器の劣化度検出方法を利用して、前記燃料ガスを用いた燃料電池による発電を行う燃料電池発電方法であって、

前記劣化度検出工程が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な出力以下に発電出力を低減する制御を行う発電出力制御工程を備えた、燃料電池発電方法。

1 4 . 請求の範囲第 1 項記載の燃料電池発電システムの、前記原料の流量と前記水蒸気の流量とから演算される燃料ガスの演算流量と、前記検出された燃料ガスの検出流量とを比較することにより、前記改質器の

劣化度を算出する劣化度検出手段としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

15. 請求の範囲第3項記載の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように、前記改質器の反応温度を上昇させる改質器加熱手段としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

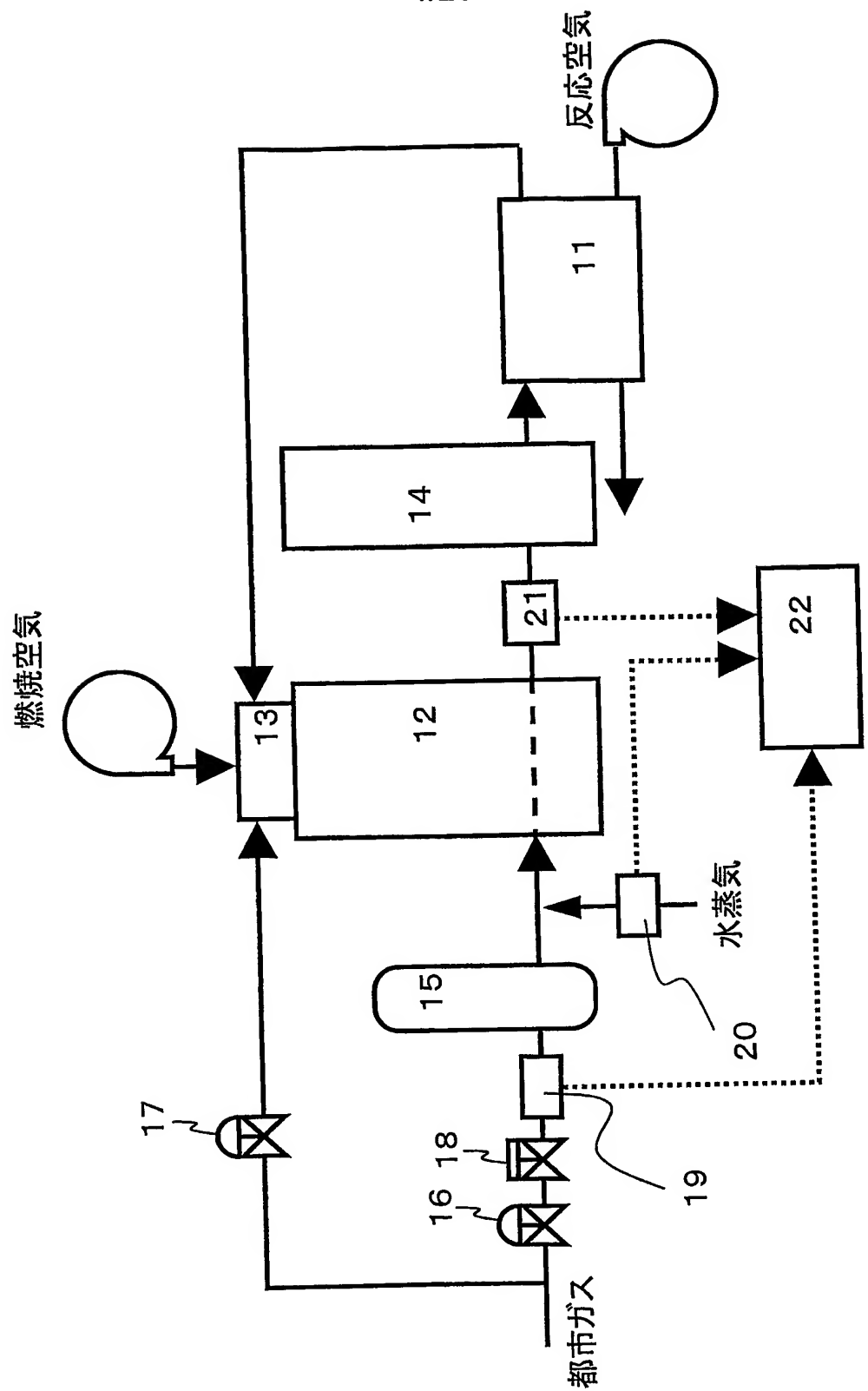
16. 請求の範囲第4項記載の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記水蒸気流量を増加する制御を行う水蒸気流量制御手段としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

17. 請求の範囲第5項記載の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な燃料ガス流量以上となるように前記原料流量を増加する制御を行う原料流量増加手段としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

18. 請求の範囲第6項記載の燃料電池発電システムの、前記劣化度検出手段が検出した劣化度を受けて、前記燃料電池での発電が可能な出力以下に発電出力を低減する制御を行う発電出力制御手段としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

19. 請求の範囲第14から第18項のいずれかに記載のプログラムを担持した記録媒体であって、コンピュータにより処理可能な記録媒体。

1/20



第1図

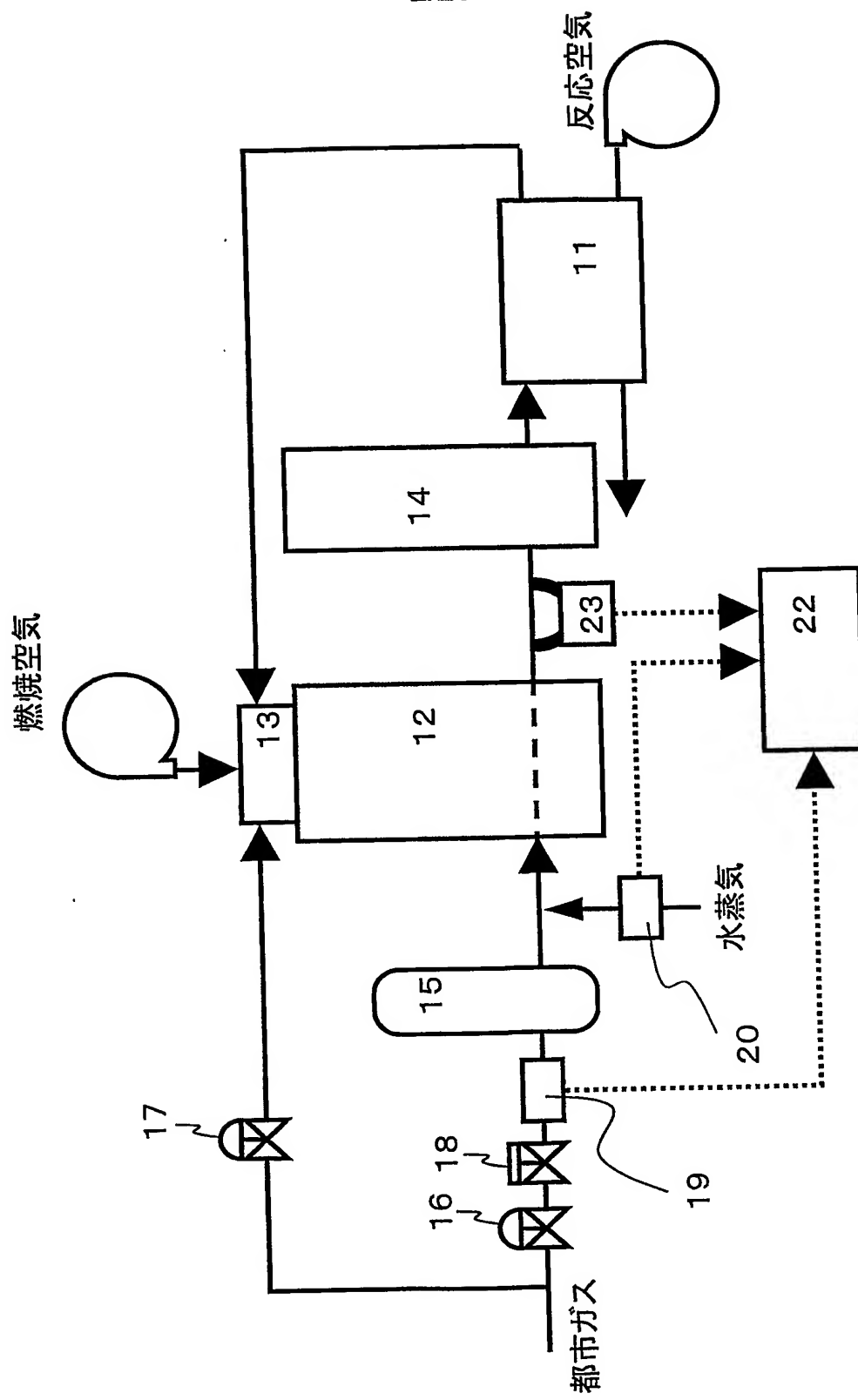
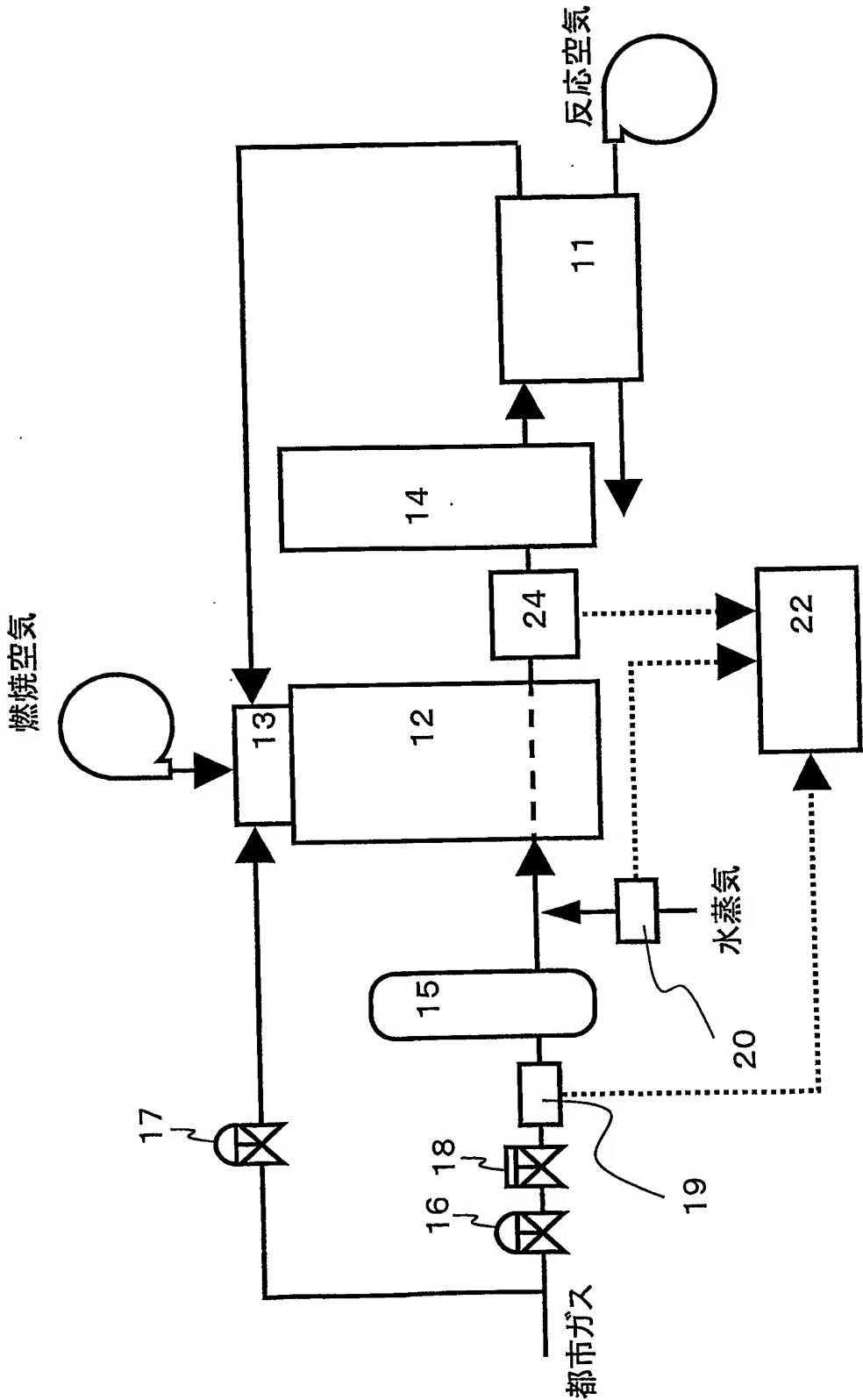
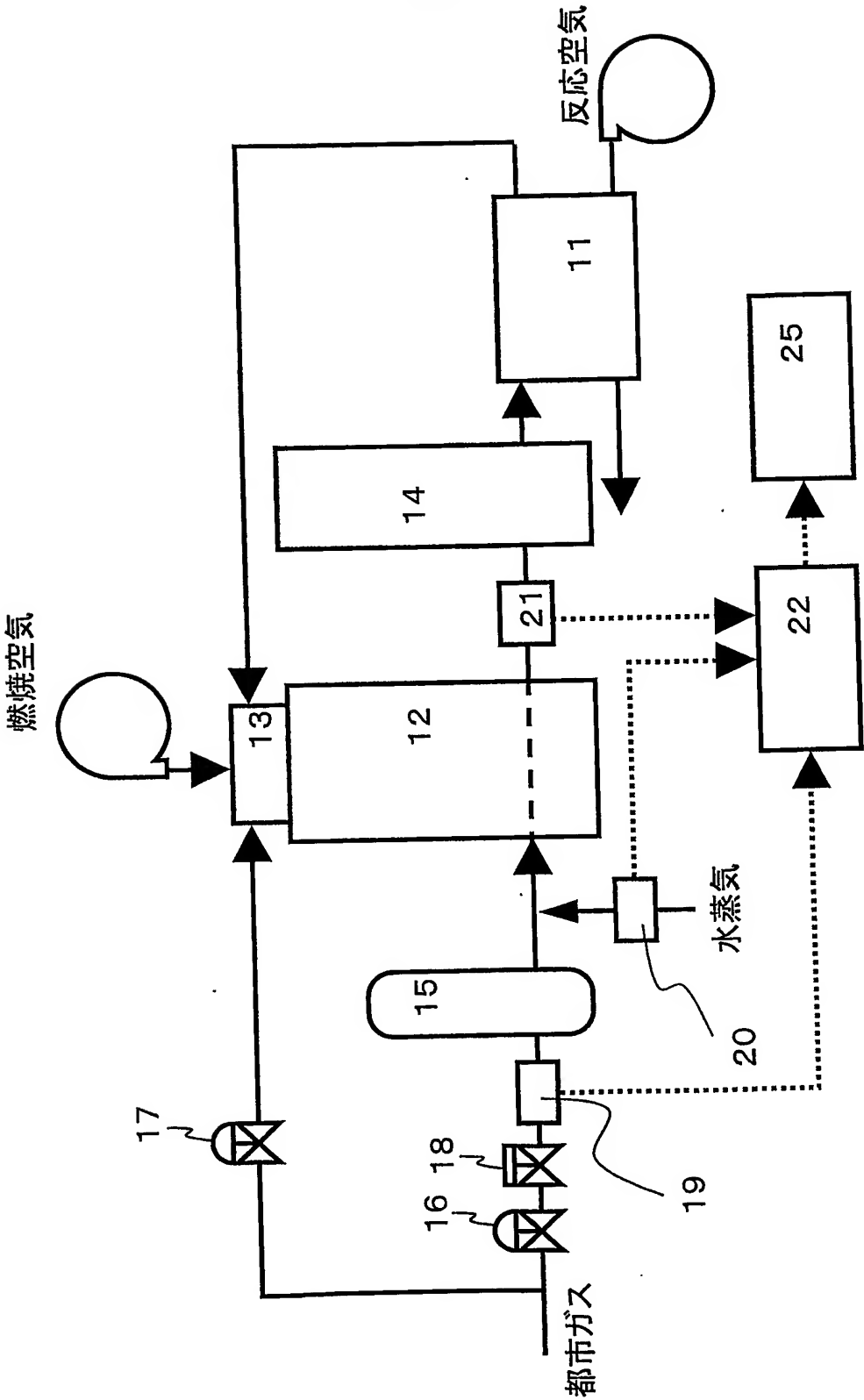


圖 2

第3図

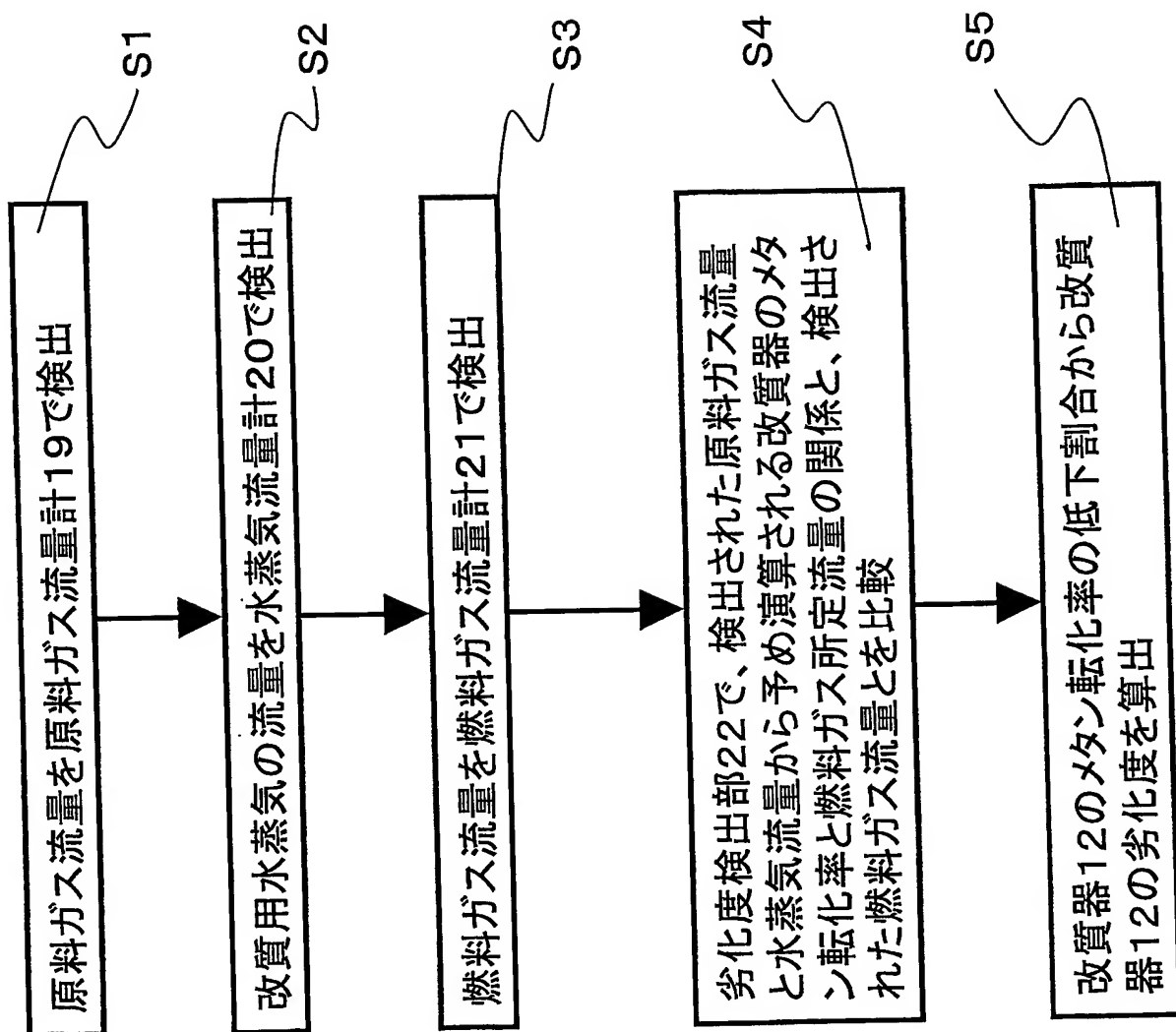


第4図

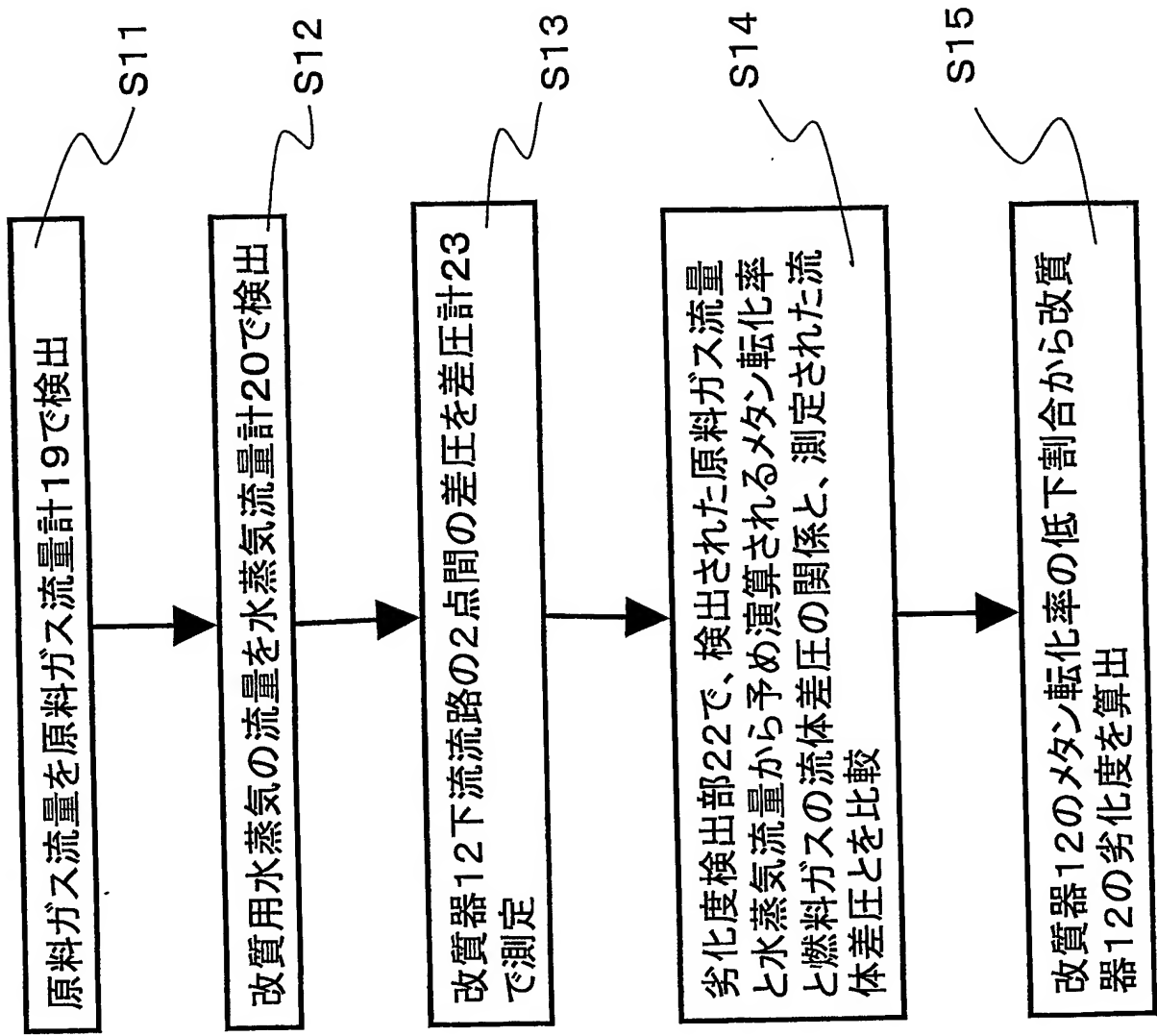


5/20

第5図

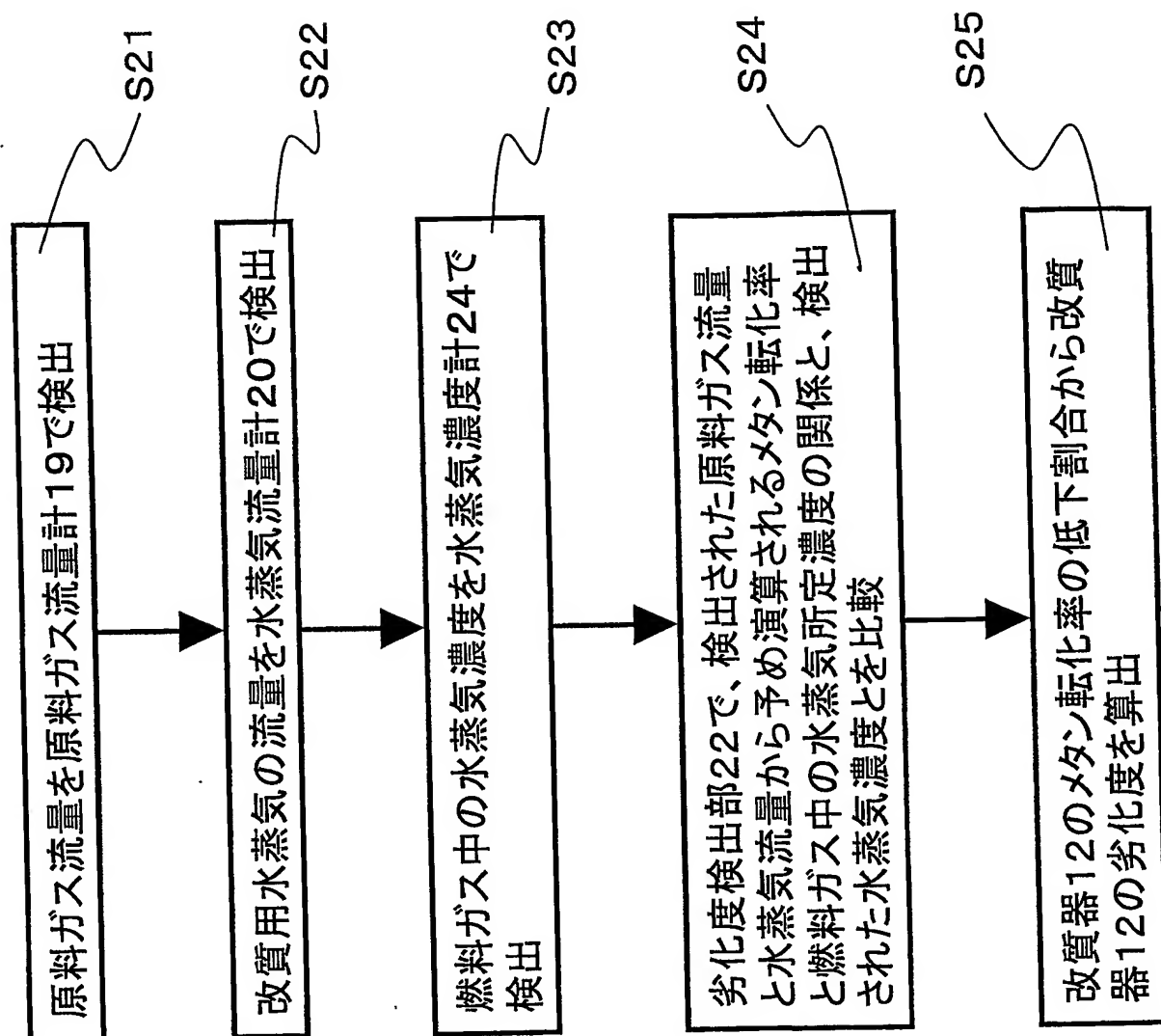


第6図



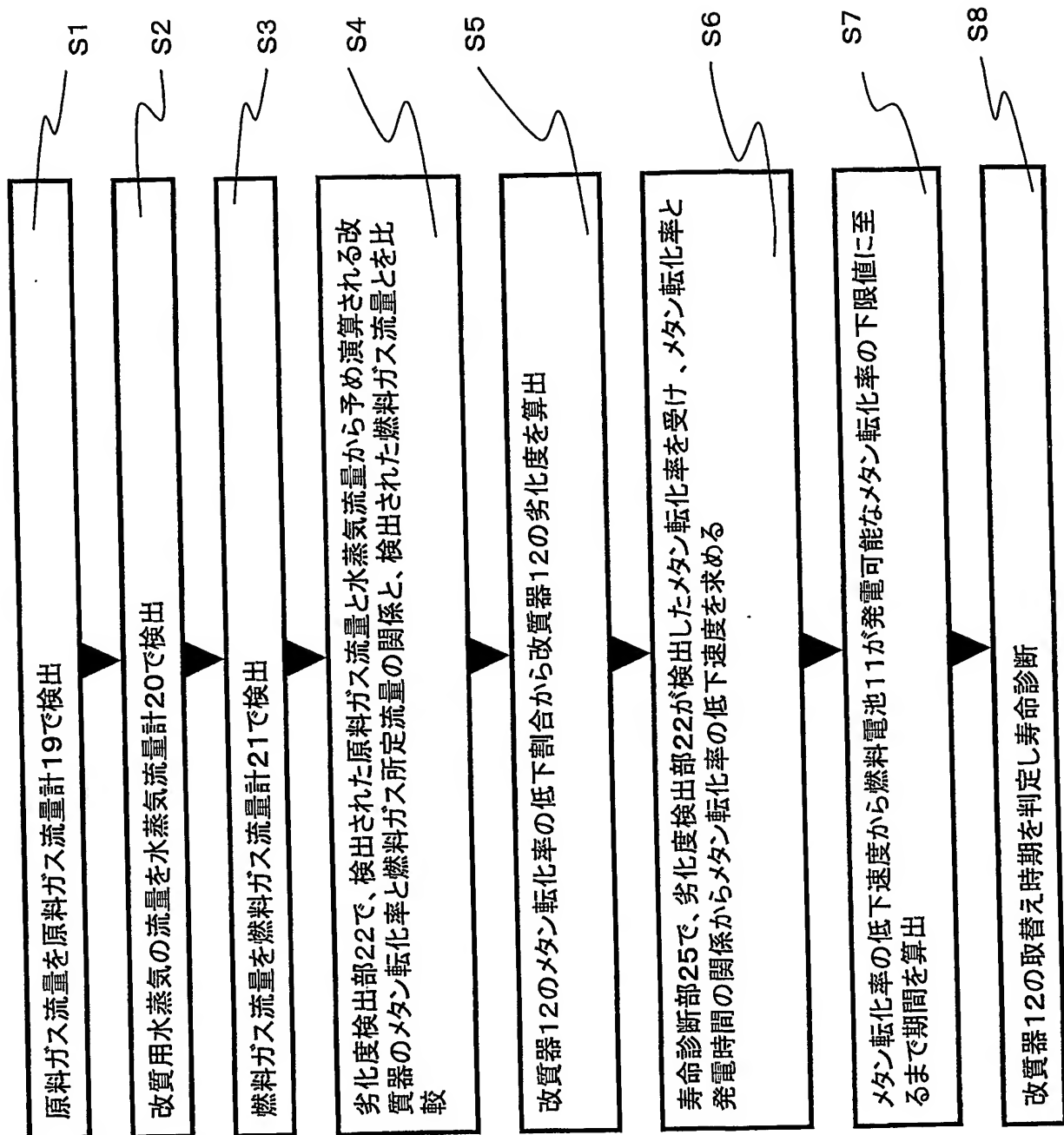
7/20

第7図

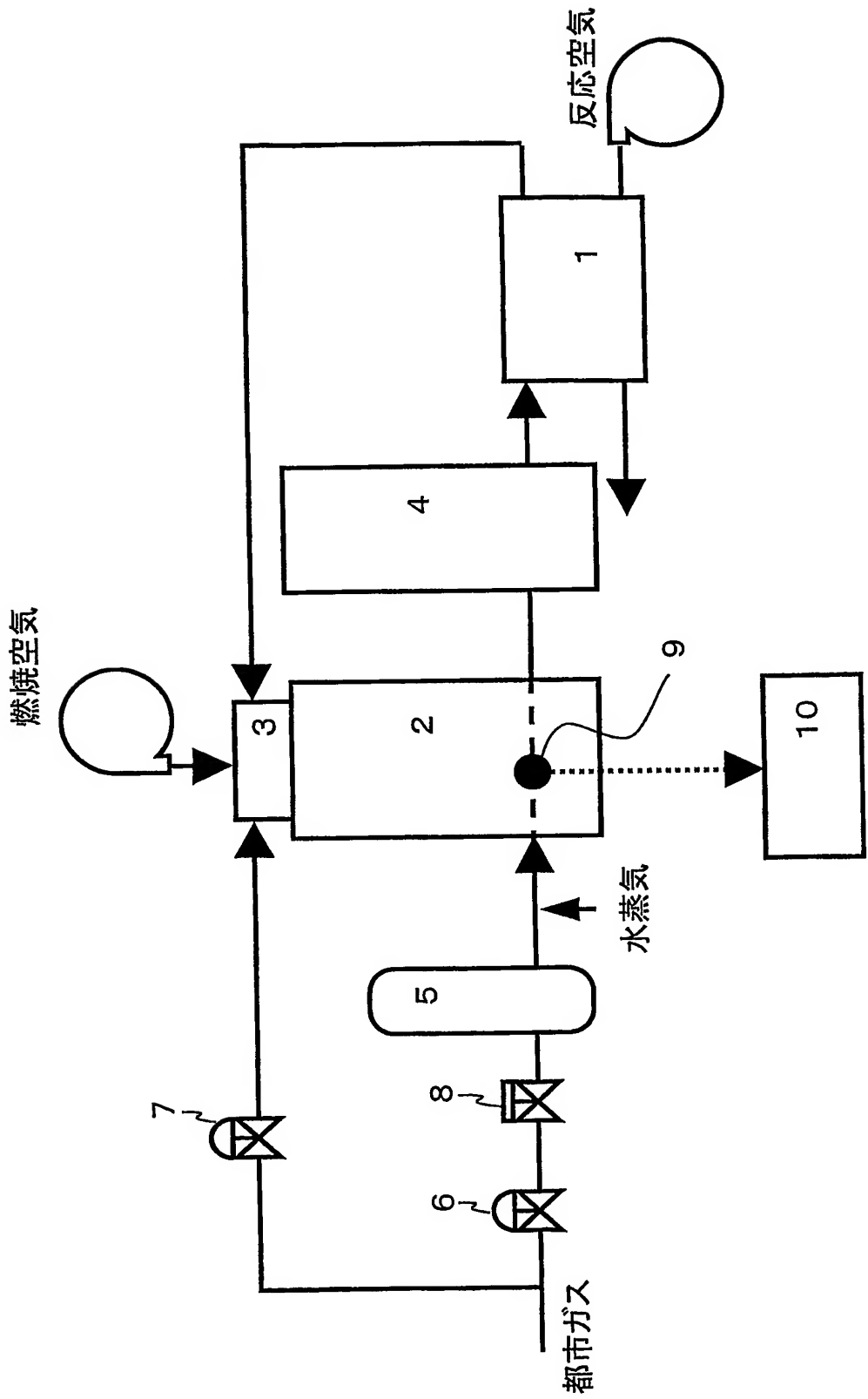


8/20

第8図

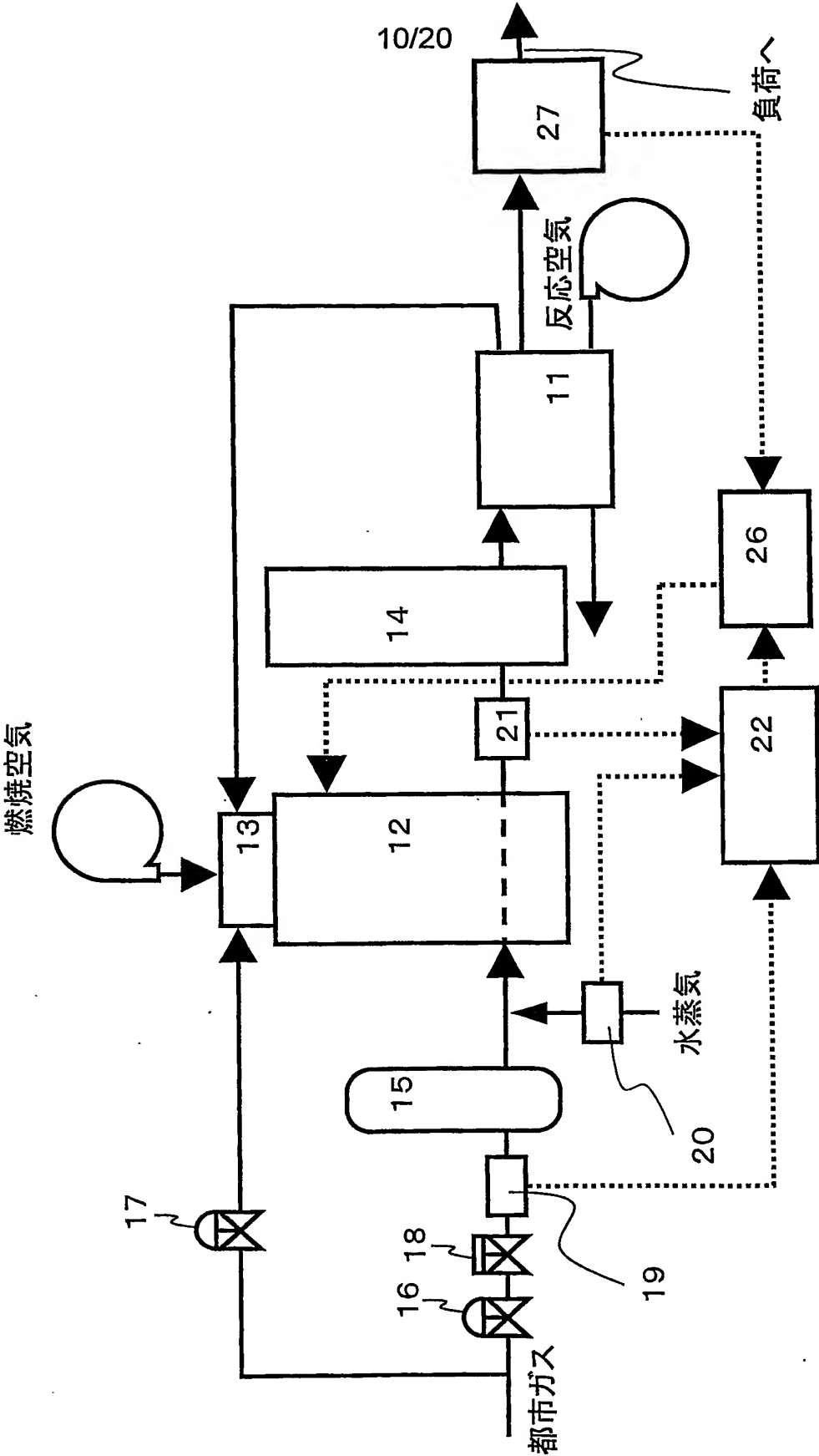


9/20



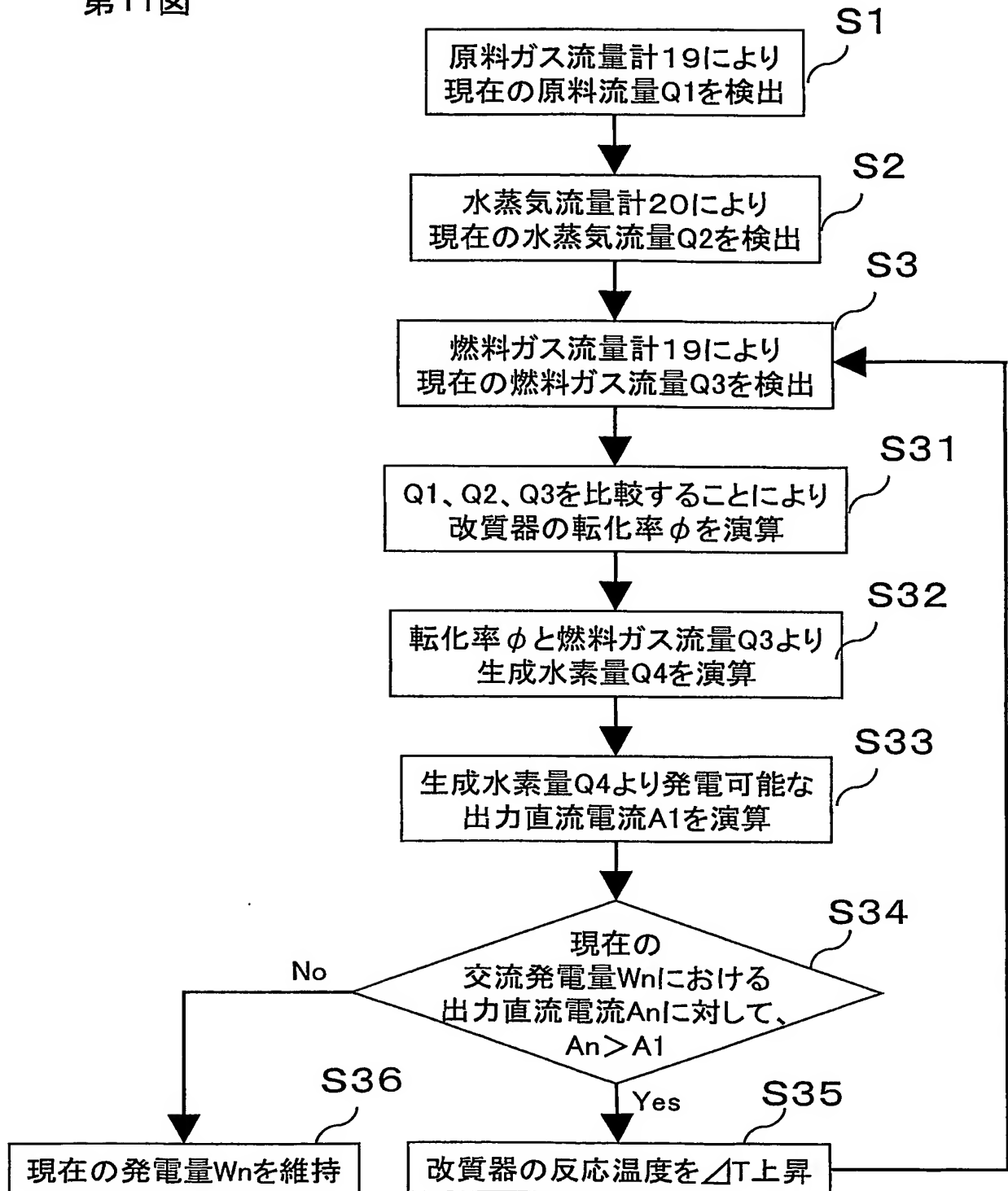
第9図

第10図

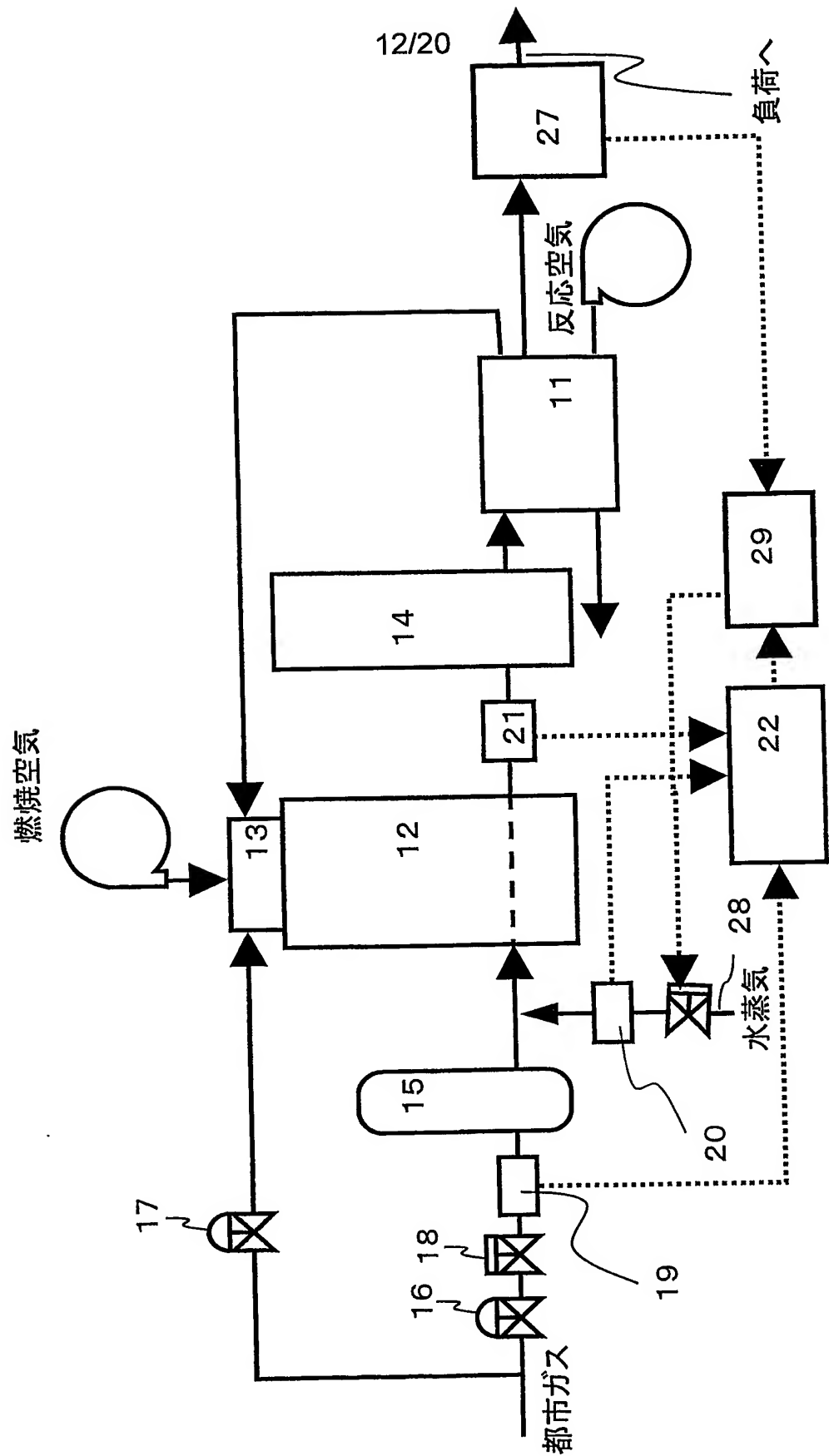


11/20

第11図

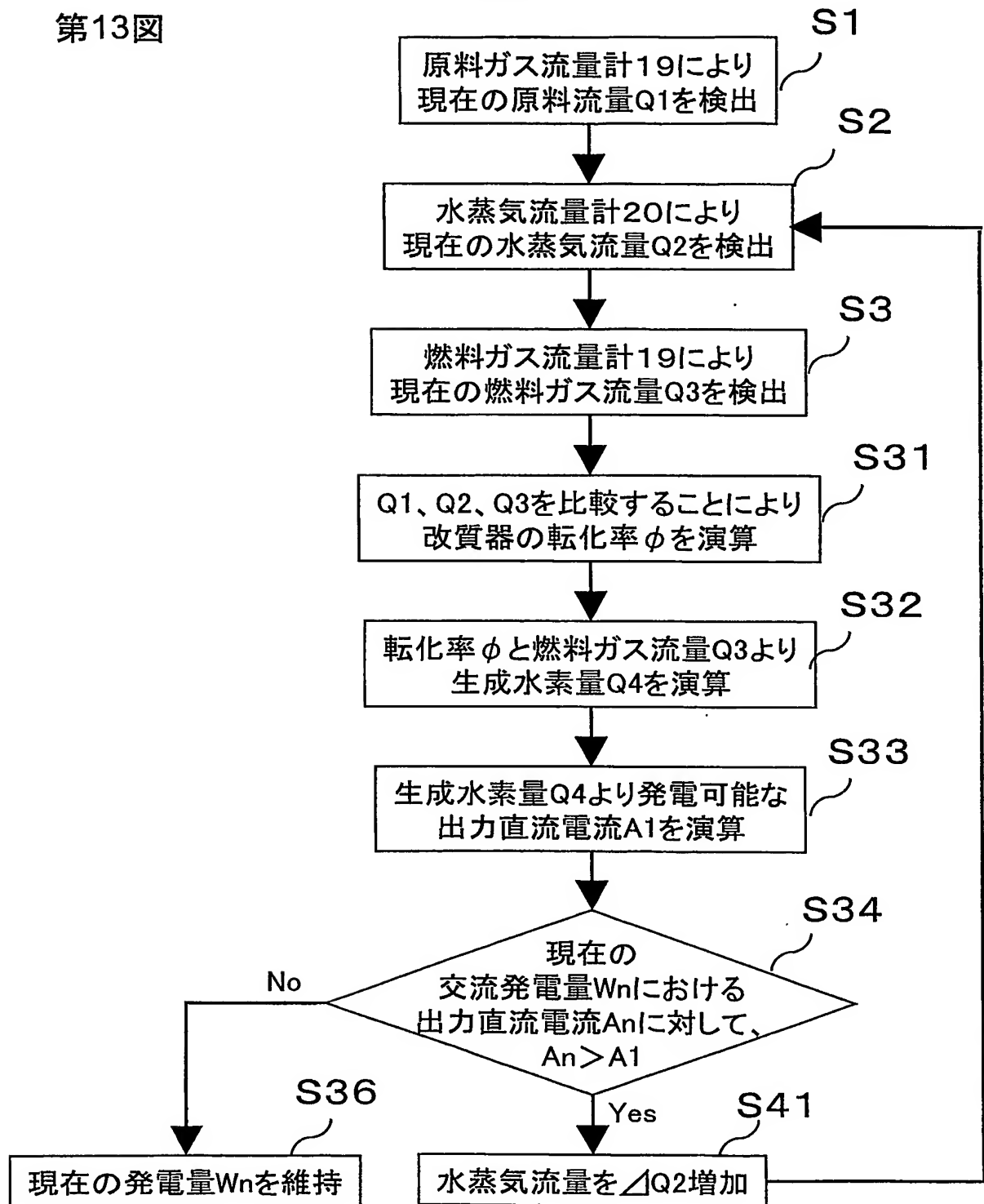


第12図

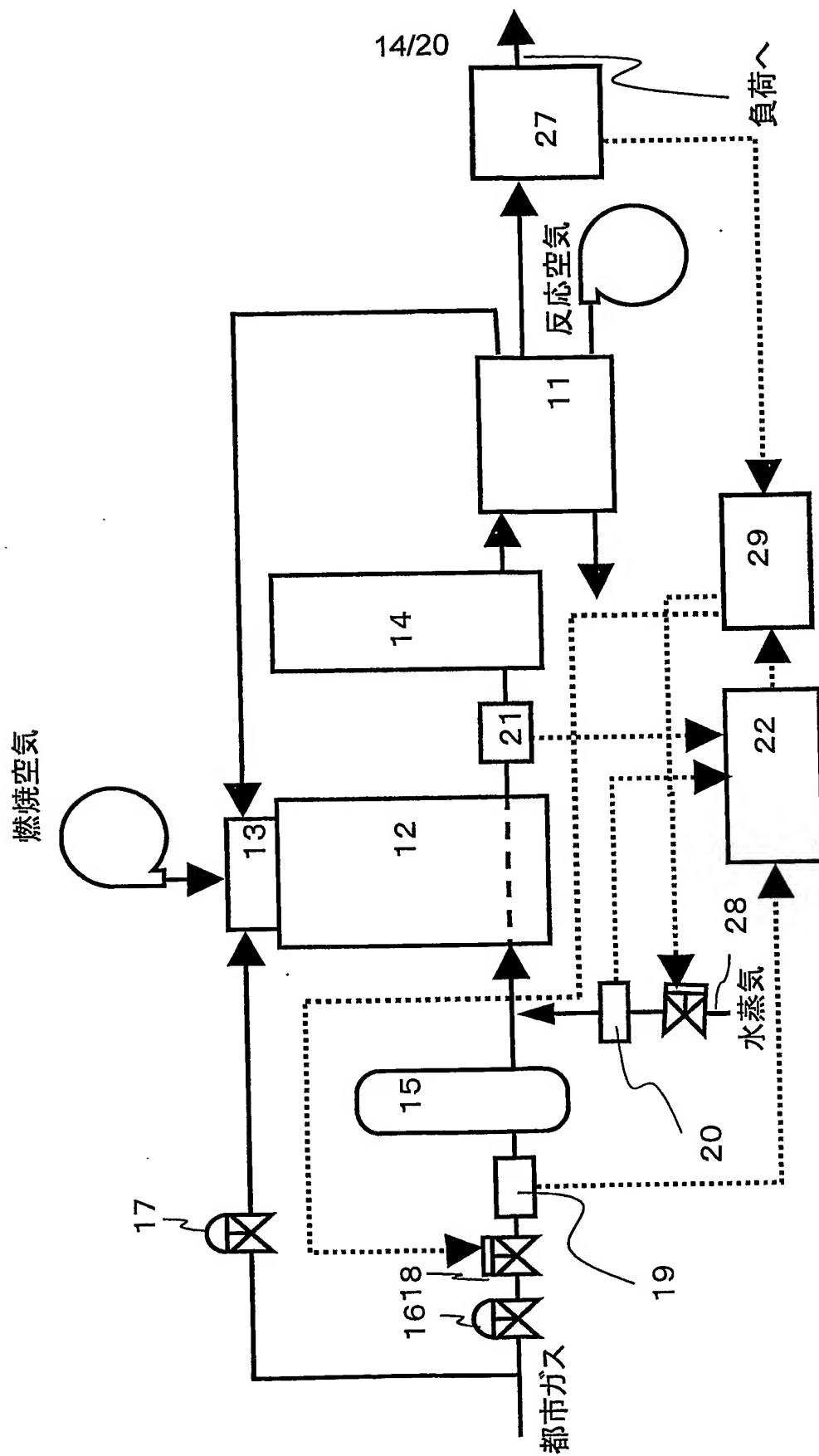


13/20

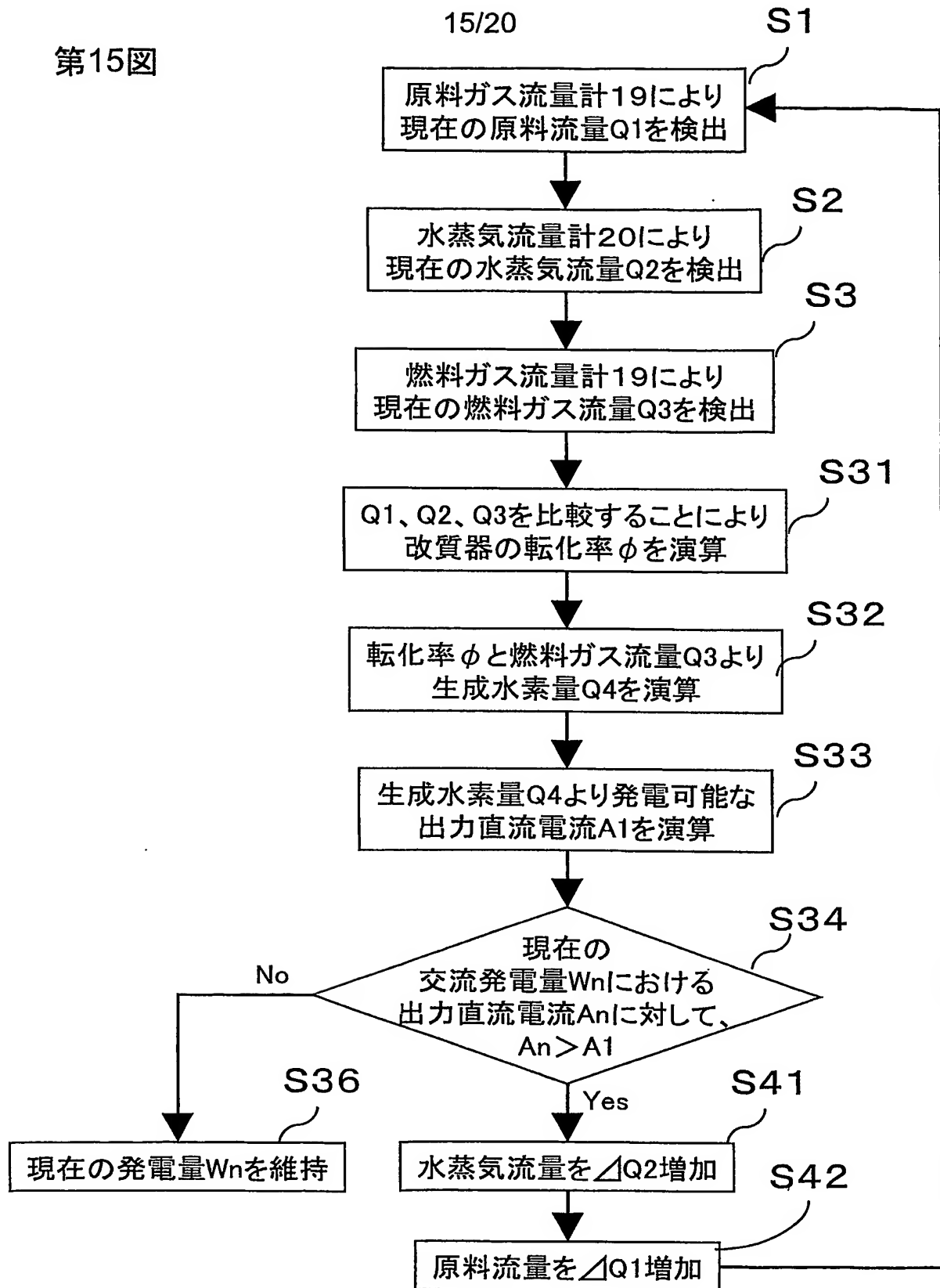
第13図



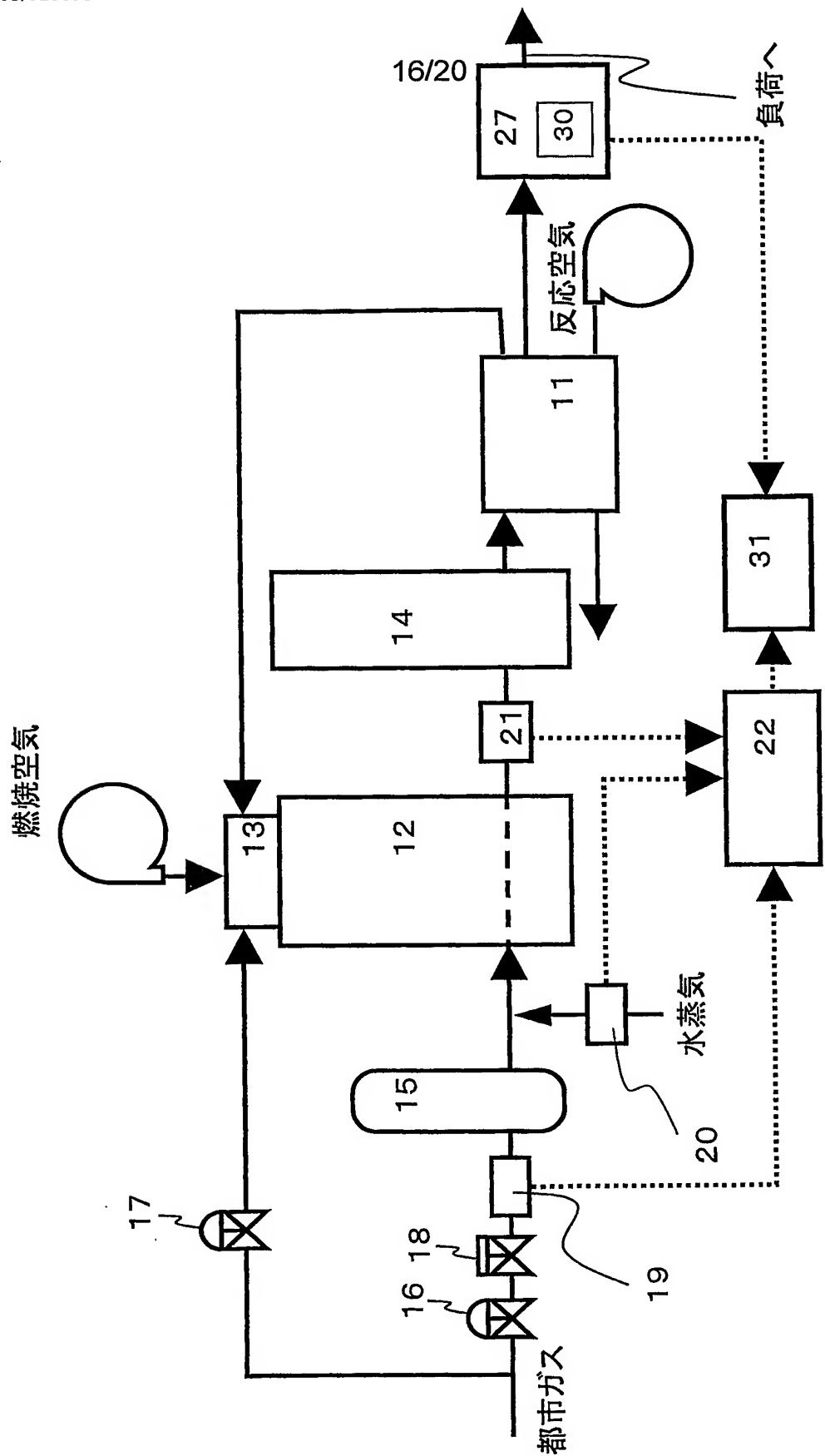
第14図



第15図

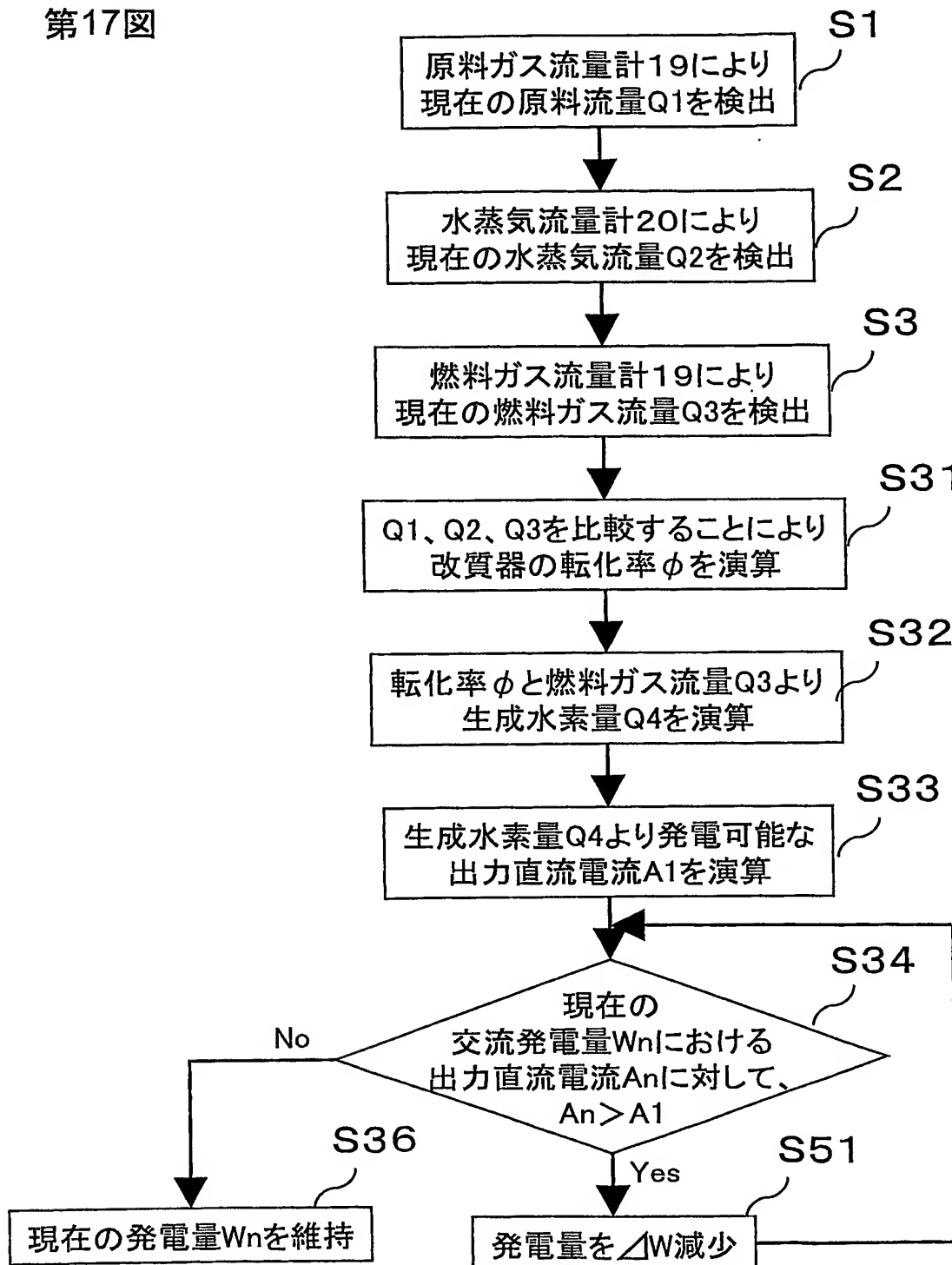


第16図



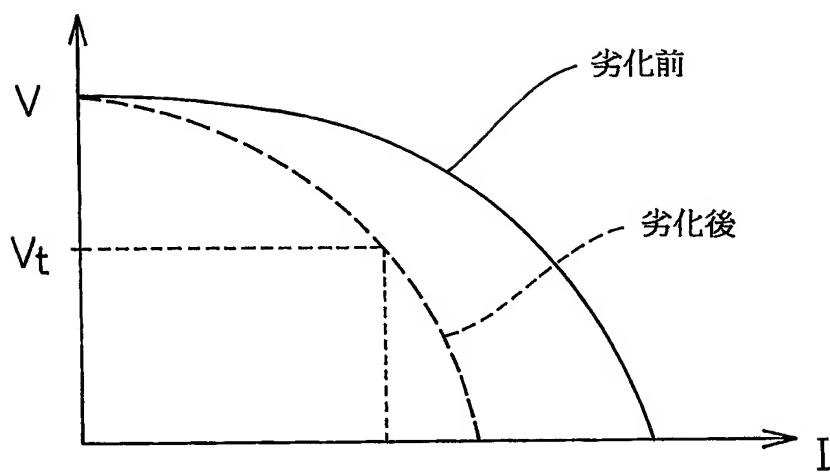
17/20

第17図



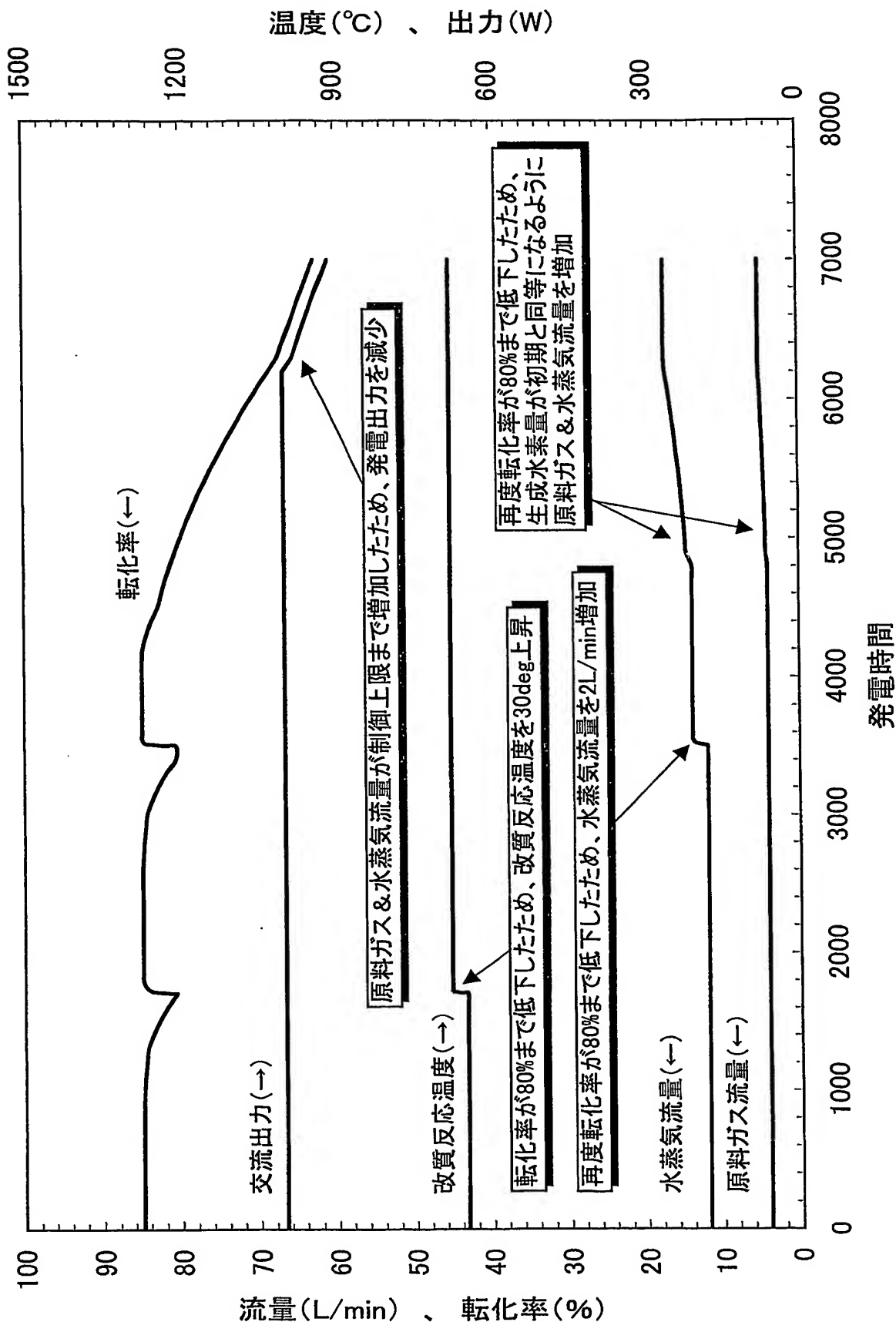
18/20

第18図

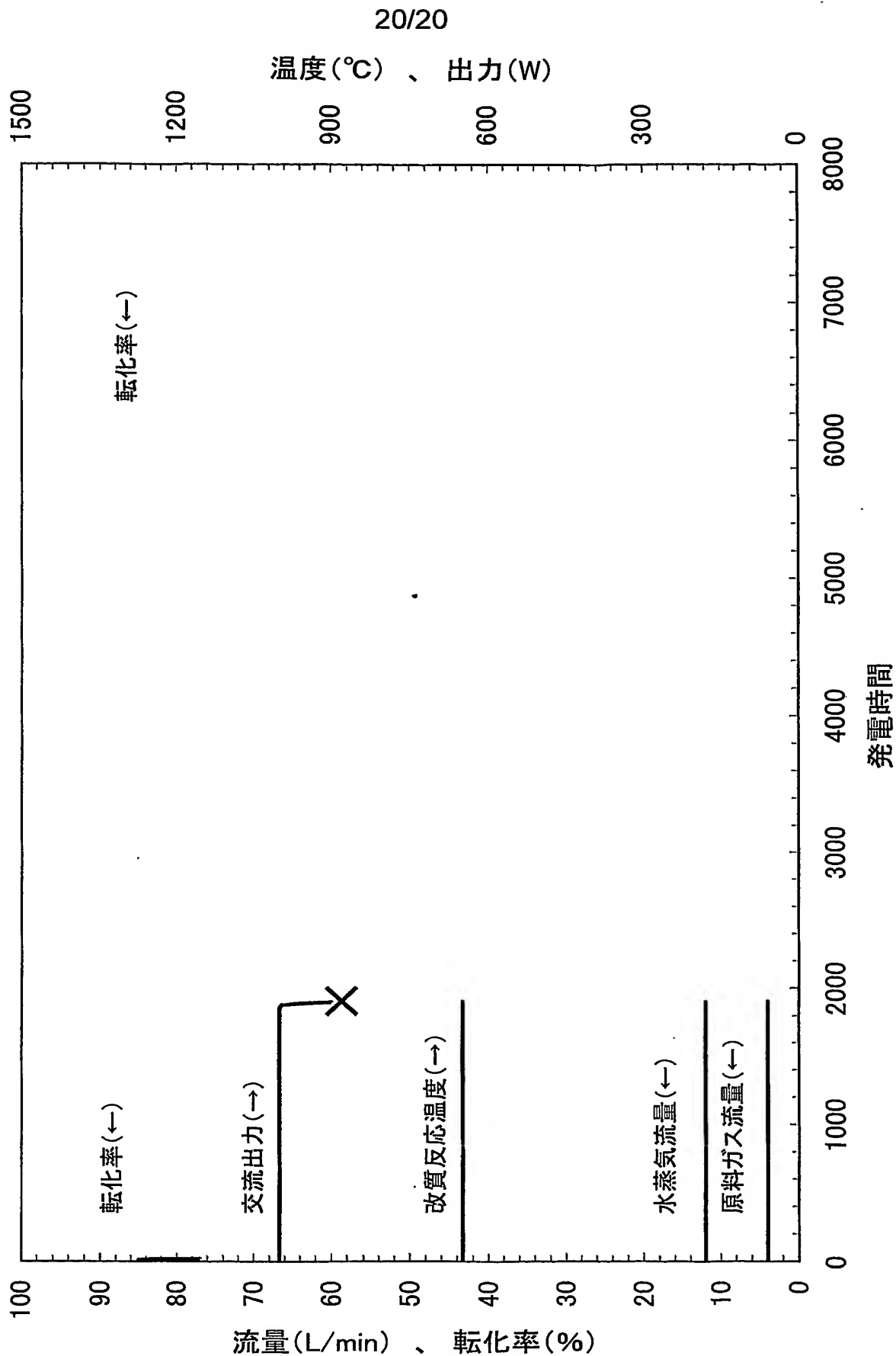


19/20

第19図



第20図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/012217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H01M8/04, H01M8/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁷ H01M8/04, H01M8/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-124286 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 26 April, 2002 (26.04.02), Claims; Par. No. [0014] & US 2002/0045078 A1 & EP 1198020 A2	1-19
A	JP 11-79702 A (Toyota Central Research And Development Laboratories, Inc.), 23 March, 1999 (23.03.99), Par. Nos. [0015] to [0016] (Family: none)	1-19
A	JP 2001-325975 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 22 November, 2001 (22.11.01), (Family: none)	1-19

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 November, 2004 (18.11.04)

Date of mailing of the international search report
07 December, 2004 (07.12.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/012217

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 9-199153 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 31 July, 1997 (31.07.97), (Family: none)	1-19
A	JP 2000-188121 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 04 July, 2000 (04.07.00), (Family: none)	1-19
A	JP 2003-112902 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 18 April, 2003 (18.04.03), (Family: none)	1-19

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01M8/04, H01M8/06

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01M8/04, H01M8/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-124286 A (日産自動車株式会社) 2002.04.26 【特許請求の範囲】及び【0014】 & US 2002/0045078 A1 & EP 1198020 A2	1-19
A	JP 11-79702 A (株式会社豊田中央研究所) 1999.03.23 【0015】-【0016】 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 2001-325975 A (富士電機株式会社) 2001.11.22 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 9-199153 A (日本電信電話株式会社) 1997.07.31 (ファミリーなし)	1-19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.11.2004

国際調査報告の発送日

07.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

守安 太郎

4 X

3 3 4 8

電話番号 03-3581-1101 内線 3477

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-188121 A (日本電信電話株式会社) 2000.07.04 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 2003-112902 A (日産自動車株式会社) 2003.04.18 (ファミリーなし)	1-19